

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA INDÚSTRIA DE
ELETROELETRÔNICOS PORTÁTEIS: UM ESTUDO DE CASO DO
FIM DE VIDA DO MICROCOMPUTADOR

Daniel Luis Garrido Monaro

Orientador: Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho

Santa Bárbara d'Oeste,
2014

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA INDÚSTRIA DE
ELETROELETRÔNICOS PORTÁTEIS: UM ESTUDO DE CASO DO
FIM DE VIDA DO MICROCOMPUTADOR**

Daniel Luis Garrido Monaro

Orientador: Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP.

**Santa Bárbara d'Oeste,
2014**

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA INDÚSTRIA DE
ELETROELETRÔNICOS PORTÁTEIS: UM ESTUDO DE CASO DO
FIM DE VIDA DO MICROCOMPUTADOR**

Daniel Luis Garrido Monaro

Prof. Dr. Aparecido dos Reis Coutinho
PPGEP - UNIMEP

Prof. Dr. Fernando Celso de Campos
PPGEP - UNIMEP

Prof. Dr. Milton Vieira Júnior
UNINOVE

Em primeiro lugar a Deus que me deu a sabedoria necessária para chegar a esta fase em minha vida, assim como me apresentou as pessoas certas para este sucesso, e às pessoas que formam o meu núcleo familiar, Luis C. Monaro, Cleuza R. G. Monaro e Renato L. G. Monaro, que me transformam em uma pessoa melhor a cada dia e contribuíram significativamente neste processo, me mantendo focado e determinado a realizar este sonho.

Dedico

Ao professor Aparecido dos Reis Coutinho por toda a estruturação e foco do trabalho, além das inúmeras horas de investimento do seu tempo com o meu crescimento profissional, aos meus amigos do laboratório que me acolheram nesses anos de trabalho e contribuíram muito para este resultado final e a Marla J. Marinho, minha namorada, que esteve ao meu lado este tempo todo, uma companheira e amiga para todas as horas.

Ofereço

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, por me dar saúde e força de vontade para conseguir alcançar este objetivo.

Ao professor da UNIMEP e coordenador do Laboratório de Materiais Carbonosos, Dr. Aparecido dos Reis Coutinho, pela paciência, orientação, amizade, incentivo e por acreditar em mim desde o início.

Aos profissionais da Itautec, nas pessoas de Celeste de Moura Blanco e Mário Célio Lozano Costa, que contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho.

Aos profissionais da Descarte Certo, na pessoa do Engenheiro Bernardo Salvaia, que se transformaram em grandes parceiros no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os amigos de trabalho do laboratório, Ana C. Plens, Guilherme Bianconi, Manoel Méndez, Carla Rombalbo, Larissa Silva e Juliana Floriano da Silva, pelo companheirismo, apoio e atenção.

Aos professores, colaboradores e colegas de pós-graduação que fizeram parte deste trabalho.

Aos colegas André J. Miki e Michael Trommer pelo companheirismo durante esses anos.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço à minha namorada Marla J. Marinho, meus pais Luis C. Monaro e Cleuza R. G. Monaro, meu irmão Renato L. G. Monaro, Bianca D. de Paula, nossos herdeiros Miguel L. Monaro e Luna Monaro que transformam qualquer tempestade em sol, e toda minha família, pela compreensão e dedicação constantes, os meus sinceros agradecimentos.

O presente trabalho foi realizado com apoio parcial da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – Brasil.

“Muitas vezes as ações em prol do meio ambiente são consideradas como gotas isoladas na imensidão de um oceano, mas o que são os oceanos se não a junção dessas muitas gotas.”

Sumário

Lista de Figuras	
Lista de Tabelas	
Resumo	
Abstract	
1 Introdução	1
1.1 Importância do Trabalho	1
1.2 Justificativa	5
1.3 Problemas da Pesquisa	6
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo Geral	6
1.4.2 Objetivos Específicos.....	6
1.5 Visão Macro da Pesquisa	7
1.6 Estrutura do Trabalho	8
2 Desenvolvimento Teórico	10
2.1 Histórico do Gerenciamento Ambiental	10
2.2 A História dos Computadores	26
2.3 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	30
2.4 Ciclo de Desenvolvimento do Produto	37
2.5 Logística Reversa	47
2.6 Identificação dos Componentes de um microcomputador	53
2.6.1 Vidro.....	54
2.6.2 Plástico	59
2.6.3 Placas e Metais.....	61
2.7 Produção dos Produtos Eletrônicos Portáteis e os Computadores Pessoais	69

2.8 Técnicas de Recuperação dos Produtos Eletrônicos.....	75
2.8.1 Reciclagem Local.....	76
2.8.2 Exportação dos produtos para países em desenvolvimento	78
2.8.3 Incineradores	81
2.8.4 Disposição em aterros	82
2.9 Classificação dos Resíduos Sólidos e dos Aterros Industriais	83
2.10 Considerações Finais do Capítulo.....	85
3 Abordagem Metodológica	87
3.1 Pesquisa Bibliográfica	89
3.2 Visitas Técnicas a empresas do segmento de produção e recuperação de produtos eletrônicos	91
3.3 Identificação e quantificação dos componentes de um microcomputador	91
3.4 Estudo das técnicas de recuperação	91
3.4.1 Reciclagem e Reuso.....	92
3.4.2 Tratamento e Recuperação	92
3.4.3 Outros	92
3.5 Estudo das possibilidades de disposição / eliminação.....	92
3.5.1 Incineração	92
3.5.2 Disposição em aterros	92
3.5.3 Disposição no meio ambiente.....	93
3.5.4 Outros	93
3.6 Quantificação reciclável e descartável.....	93
3.7 Aspectos Econômicos	93
4 Resultados.....	94
4.1 Cadeia de Manufatura e Manufatura Reversa dos Computadores: Possíveis Impactos.....	94
4.2 Quantificação dos componentes que compõem um microcomputador	99

4.3 Impactos Ambientais Oriundos da Destinação dos Equipamentos Eletrônicos	111
4.3.1 Reciclagem ou Manutenção Local Informal.....	111
4.3.2 Refino e Tratamento	112
4.3.3 Incineração	112
4.3.4 Disposição em Aterros.....	113
4.3.5 Disposição em Meio Aquoso	113
4.3.6 Exportação para Países em Desenvolvimento.....	114
4.4 Payback: Análise de Viabilidade de Planta de Reciclagem no Brasil.....	115
4.5 Fluxograma reverso do processo de reaproveitamento dos componentes de um microcomputador	119
5 Conclusões.....	125
5.1 Propostas para Pesquisas Futuras.....	130
6 Referências Bibliográficas	131

Lista de Figuras

Figura 1: Visão macro da pesquisa.....	8
Figura 2: Esquema relacionando os três pilares do TBL (adaptado BARBOSA, 2008).....	16
Figura 3: Esquema relacionando os três pilares do TBL destacando a influência da Cultura para alguns países (adaptado BARBOSA, 2008).....	16
Figura 4: Integração dos quatro aspectos da Gestão da Cadeia de Suprimentos Sustentável com os pilares do TBL (adaptado de CARTER; ROGERS, 2008).....	17
Figura 5: Quantidade de empresas certificadas com a ISO 14001 (adaptado ISO, 2011).....	23
Figura 6: Esquema da natureza iterativa da ACV (adaptado ILCD, 2010).....	32
Figura 7: Fases de uma ACV (ISO 14040, 1997).....	33
Figura 8: Modelo genérico para a manufatura de um produto (adaptado DEKKERS, et al., 2013; HINCKELDEYN et al., 2010).....	41
Figura 9: Visão geral do desenvolvimento do ciclo de vida (adaptado UMEDA et al., 2012).....	42
Figura 10: Fluxo dos produtos retornados em um sistema de Manufatura Reversa (adaptado DAT et al., 2012).....	43
Figura 11: Ciclo de vida de um produto, de uma maneira simplificada, englobando a Logística Reversa como parte do processo (HIRSCH et al., 1998).....	49
Figura 12: Processo da Logística Reversa na Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos (adaptado HRIBERNIK et al., 2011).....	51
Figura 13: Desenho esquemático dos componentes do monitor CRT (componentes com e sem vidros) (adaptado EPA, 2001).....	55
Figura 14: Analogia entre a extração natural (a) e a reutilização de produtos em Fim de Vida (b) para obtenção de materiais metálicos (adaptado de OGUCHI et al., 2011).....	62
Figura 15: Composição dos metais tóxicos contidos no lixo eletrônico (adaptado OGUCHI et al., 2012).....	65
Figura 16: Residências com computadores e com acesso a internet em alguns países do mundo, comparados com o crescimento da Europa e do Mundo (adaptado ITU WORLD TELECOMMUNICATION, 2012).....	69

Figura 17: Indicadores de desenvolvimento no Brasil em áreas diferentes (adaptado ITU WORLD TELECOMMUNICATION, 2012). Nota: Este gráfico mostra valores normalizados dos indicadores incluídos no IDI (ICT Development Index).	71
Figura 18: Indicadores das residências com bens duráveis no Brasil (adaptado IBGE, 2013).....	72
Figura 19: Mercado local dos computadores (adaptado ABINEE, 2013).	73
Figura 20: Quantidade de computadores no Brasil (adaptado ABINEE, 2013).74	
Figura 21: Sistema de refluxo de materiais no Japão (adaptado CHUNG; MURAKAMI-SUZUKI, 2008).....	77
Figura 22: Caracterização e classificação dos Resíduos Sólidos (NBR 10004, 2004).	85
Figura 23: Fluxograma das etapas desenvolvidas no presente trabalho.	90
Figura 24: Fluxo dos computadores produzidos por uma empresa nacional de grande porte do setor eletrônico.....	95
Figura 25: Distribuição dos materiais por modelo estudado coletados na empresa A.	105
Figura 26: Distribuição dos materiais por modelo estudado coletados na empresa B.	106
Figura 27: Distribuição dos materiais por modelo estudado coletados na empresa C.	106
Figura 28: Distribuição dos materiais por modelo estudado coletados na empresa D.	107
Figura 29: Distribuição dos materiais por modelo estudado, Laboratório 1....	107
Figura 30: Distribuição dos materiais por modelo estudado, Laboratório 2....	108
Figura 31: Peso total dos equipamentos analisados, separados por tipo de equipamento.....	109
Figura 32: Peso total dos equipamentos analisados em valores percentuais, separados por tipo de equipamento.	109
Figura 33: Total reciclável e não reciclável dos modelos apresentados.....	110
Figura 34: Total reciclável e não reciclável dos modelos apresentados, em valores percentuais.	110
Figura 35: Sequência de cálculos para a obtenção do indicador do capital de retorno.....	115

Figura 36: Fluxograma geral do processo de Manufatura Reversa dos equipamentos eletrônicos.....	121
Figura 37: Quadro 1 – Fluxograma da etapa de reaproveitamento dos metais, tela, disco rígido e plásticos presentes nos equipamentos eletrônicos.	122
Figura 38: Quadro 2 – Fluxograma da etapa de reaproveitamento das placas presentes nos equipamentos eletrônicos (adaptado UMICORE, 2013).	123
Figura 39: Quadro 3 – Fluxograma da etapa de reaproveitamento do carregador, cabos, embalagem, outros vidros e rejeitos presentes nos equipamentos eletrônicos.....	124

Lista de Tabelas

Tabela 1: Evolução do cenário político ambiental (adaptado ZACCAI, 2012)..	21
Tabela 2: Cronograma da implantação da PNRS (adaptado MMA, 2013).....	25
Tabela 3: Evolução dos computadores a partir da primeira forma de calcular projetada pelo ser humano (Compilado pelo próprio autor).	27
Tabela 4: Diferenças entre a técnica de “fim de tubo” e a P+L (adaptado de CNTL, 2003).....	39
Tabela 5: Comparativo dos materiais presentes nos computadores.....	54
Tabela 6: Composição química e de metais pesados contidos nos vidros dos monitores (MOSTAGHEL; SAMUELSSON, 2010 e LIN et al., 2009).....	58
Tabela 7: Quantidade de metais em placas de circuito impresso de equipamentos eletrônicos (mg/kg) (adaptado OGUCHI et al., 2011).	64
Tabela 8: A origem dos metais pesados no lixo eletrônico e seus efeitos na saúde humana (adaptado MAHESHWARI et al., 2013)	66
Tabela 9: Substâncias tóxicas relacionadas à reciclagem do lixo eletrônico ...	67
Tabela 10: Quantidade de lixo eletrônico gerado em alguns países no ano de 2012 (HUISMAN, 2010 e STEP, 2013).	74
Tabela 11: Estimativa da geração de emprego a partir da indústria chinesa de reciclagem de lixo eletrônico (adaptado DUAN et al., 2009).	80
Tabela 12: Impactos oriundos do processo de manufatura e consumo de um componente eletrônico seguindo as metodologias do TBL e da ACV.....	97
Tabela 13: Impactos oriundos do processo de Manufatura Reversa de um componente eletrônico seguindo as metodologias do TBL e da ACV.....	98
Tabela 14: Componentes dos Gabinetes, em Kg.....	100
Tabela 15: Componentes dos Gabinetes, em porcentagem.	100
Tabela 16: Componentes dos Monitores CRT, em Kg.	101
Tabela 17: Componentes dos monitores CRT, em porcentagem.....	101
Tabela 18: Componentes dos Monitores LCD, em Kg.	102
Tabela 19: Componentes dos Monitores LCD, em porcentagem.....	103
Tabela 20: Componentes dos notebooks, em Kg.....	104
Tabela 21: Componentes dos Notebooks, em porcentagem.	104
Tabela 22: Investimento inicial para a montagem da unidade, assim como as despesas mensais inerentes ao processo de produção (em dólar (\$)).	116

Tabela 23: Custo e Lucro Médio Unitário por modelo estudado (em dólar (\$)).	117
Tabela 24: Demonstrativo da obtenção do lucro líquido mensal para uma empresa de reciclagem dos produtos eletrônicos.	118

Resumo

Um grande desafio para os sistemas de produção consiste na integração e manutenção de um justo equilíbrio entre os aspectos ambientais, sociais e econômicos. Esta integração, também conhecida com Triple Bottom Line, pode contribuir na estruturação de uma organização em termos de competitividade, de modo que as mudanças em prol do meio ambiente passam a beneficiar a corporação e não sejam vistas como prejuízos. Nesse sentido, a busca da sustentabilidade pelos processos produtivos aumentou nas últimas décadas, com a necessidade de desenvolver meios adequados, sob o ponto de vista ambiental e econômico, voltados à gestão de sua produção, uso e descarte. Nesse cenário, tem-se a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) que consiste em avaliar os impactos ambientais associados a um produto em todas as fases, “do berço ao túmulo”, ou “da concepção ao descarte”, que aliada aos conceitos da Logística Reversa (LR) e a Produção mais Limpa (P+L) solidificaram este estudo. Portanto, o presente estudo tem por objetivo utilizar a ACV no sentido de abordar o conceito de desenvolvimento sustentável na cadeia dos equipamentos eletroeletrônicos, especificamente relacionada aos microcomputadores (Monitor CRT, Monitor LCD, Notebook e Gabinete), utilizando a abordagem qualitativa descritiva para a análise dos dados coletados, em parceria com empresas produtoras e recicladoras nacionais de grande porte do setor. Os componentes presentes no microcomputador foram identificados e quantificados, no sentido de abordar a destinação final desses materiais, visando minimizar seus desperdícios e impactos ambientais, de modo que este estudo se justifica devido ao crescimento exponencial nos últimos anos deste segmento de produção, assim como a perspectiva de evolução da cadeia produtiva destes produtos. Como resultados, tem-se que é viável o processo de reciclagem destes produtos no país, tanto em termos ambientais, quanto econômicos, encontrando como obstáculo a questão cultural, concluindo que esta prática precisa da interação de todas as partes envolvidas para o aumento da sua eficiência.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV); Microcomputadores; Logística Reversa; Produção mais Limpa; Lixo Eletrônico; Desenvolvimento Sustentável.

Abstract

The integration and maintenance of environmental, social and economic aspects balance is a key point and a big challenge for production systems aiming to support an organization. This integration, also known as Triple Bottom Line, can contribute to the organization structuring in terms of competitiveness, such that changes in favor of the environment could benefit the corporation and are not seen as losses. The search for sustainable on production processes increased in recent years, with the need to develop appropriate means under environmentally and economical, focused on the production management, consumption and disposal. In this scenario, there is the Life Cycle Assessment (LCA) that aims to assess the environmental impacts associated with a product at all stages, "cradle to grave", or "from conception to disposal", which combined with Reverse Logistics (LR) and Cleaner Production (P+L) solidified this research. This research aims to use the LCA towards addressing the concept of sustainable development in the chain of electronic equipment, specifically microcomputers, using a descriptive qualitative approach to the analysis of the data collected in partnership with large national companies in the sector. The components present in the microcomputer were identified and quantified in order to address the final disposal of these materials to minimize waste and environmental impact, justifying the study of LCA in the field of computers due to their exponential growth in recent years, and the prospect of evolution of the supply chain for these products. The results show that the process is viable to recycle these products in the country, both in environmental terms, as economic terms, finding the cultural issue as an obstacle in the country, and concluded that this practice needs the interaction of all stakeholders to increase its efficiency.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA); Personal Computers; Reverse Logistics; Cleaner Production; E-waste; Sustainable Development.

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, é feita uma descrição da importância deste trabalho para o setor de fabricação de produtos eletrônicos, buscando fazer um estudo do processo de reaproveitamento desses materiais por meio do uso das ferramentas da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), Logística Reversa e Produção mais Limpa, além de um levantamento da problemática a ser abordada ao longo desta pesquisa. Em seguida, serão apresentados os objetivos propostos para este projeto e, por fim, uma apresentação da estrutura utilizada.

1.1 Importância do Trabalho

A sustentabilidade vem se tornando, com o passar dos anos, uma combinação de fatores com o intuito de desenvolver metodologias e processos a fim de manter o sistema de produção atual, sintonizando-o de forma benéfica com o meio ambiente. Sustentabilidade pode, portanto, ser considerada como a integração de critérios ambientais, sociais e econômicos (*Triple Bottom Line*), mantendo um justo equilíbrio entre esses três aspectos com o objetivo de fornecer suporte a uma organização, em termos de competitividade a longo prazo, tal que as mudanças em prol do meio ambiente beneficiem também a corporação e não sejam vistas apenas como prejuízos (CARTER; ROGERS, 2008).

Desta forma, o desenvolvimento sustentável é viável se alguns paradigmas da sociedade forem quebrados, pois o sistema de desenvolvimento e evolução antrópico, ocasiona uma quebra no fluxo de nutrientes, massa e energia na natureza.

O ecossistema, de uma maneira geral, possui ciclos biogeoquímicos que mantêm uma sinergia entre a produção e o consumo dos seus recursos e energias, que há muito tempo vem sendo mais “consumidos” do que gerados pelas atividades humanas. Como exemplo, tem-se a extração de minérios ou petróleo, não existindo uma preocupação direta na mitigação desses impactos na natureza.

Apesar dos esforços para se mudar este paradigma no ambiente empresarial, o desenvolvimento sustentável é considerado como um obstáculo para as economias que visam o crescimento, deixando em segundo plano os diversos impactos ambientais oriundos dessas corporações.

Visto que as ações que poderiam alterar o consumo dos recursos naturais não são prioridades para as economias que mais poluem no mundo, como os Estados Unidos e a China (REVISTA EXAME, 2012). Tal demora no desenvolvimento de metodologias que resultam em um melhor aproveitamento dos recursos naturais dificulta a criação de ciclos produtivos que venham, com o tempo, diminuir o consumo de recursos naturais com benefícios econômicos para as empresas.

Guide Jr.; Wassenhove (2001) e Jayaraman (2006) discutem este tema e apontam para a dificuldade de produzir e reduzir os impactos ambientais com ganhos econômicos, ao mesmo tempo em que se abordam todas as etapas de um processo produtivo, inclusive o retorno dos produtos obsoletos, devido a incerteza em relação ao tempo e a quantidade de materiais que retornam para o sistema de produção.

Este fato dificulta o estabelecimento de políticas e iniciativas por parte das empresas em estudar e padronizar seus processos para a substituição da matéria prima "*in natura*" pela matéria prima reciclada, uma vez que o processo de coleta dos materiais começa com o consumidor final, que na maioria dos casos é a população, sendo de fundamental importância um trabalho voltado para sua conscientização em relação à importância da reciclagem dos produtos eletrônicos de maneira correta (DOMINGOS, 2013).

Além disso, tem-se também o obstáculo de como facilitar essa coleta por meio de um sistema de Logística Reversa que distribua estrategicamente pontos de coleta desses materiais dos consumidores finais até os centros de reciclagem ou os produtores dos mesmos.

Deste modo, o ciclo em busca da produção sustentável é de difícil visualização em alguns países, como no Brasil, em que a conscientização da população surge como entrave neste desenvolvimento, além das questões de segurança,

uma vez que os produtos eletrônicos tem um elevado valor agregado, mesmo após sua vida útil.

Segundo o PNUMA (2009), o processo de Inovação Sustentável, entendido como a mudança de tecnologias sustentáveis, assim como produtos e serviços, requer um conceito de criação de mercado e uma agenda global comum, não estando apenas nas mãos dos empresários. O grande desafio deste processo é aumentar a conscientização entre todos os atores dos diferentes setores, a fim de perceber o potencial de inovação e de mudança para as chamadas eco-inovações que levam ao consumo e produção sustentáveis.

O desenvolvimento de processos e ferramentas visando a produção sustentável pode não vir a ser suficiente na maioria dos casos, uma vez que todos os envolvidos precisam ter a consciência dos efeitos que a utilização incorreta desses produtos e, conseqüentemente, seu descarte podem acarretar ao meio ambiente.

Aliado a isso, existe também a questão do valor agregado aos produtos, o qual um sistema de Logística Reversa precisa se atentar para que a busca pelo desenvolvimento sustentável não vire um problema social em regiões com um baixo índice de desenvolvimento, como ocorre no Brasil.

Com o intuito de pensar em ferramentas que contribuam para o desenvolvimento sustentável buscou-se, por meio desta pesquisa, compreender a importância e a relação da indústria de materiais eletroeletrônicos para o meio ambiente, uma vez que nas últimas décadas a indústria eletrônica tem transformado o mundo, pois os países desenvolvidos e em desenvolvimento não mais conseguem viver sem os recursos informatizados, ou microprocessados.

Os recursos informatizados, ou microprocessados, estão presentes praticamente em todos os lugares, desde simples brinquedos para as crianças até os utensílios domésticos mais utilizados dentro de uma residência, como a geladeira e o fogão por exemplo. Passando a fronteira de uma residência, podemos encontrá-los por todos os lados também, sendo difícil imaginar o desenvolvimento da sociedade atual, bem como prevê-la no futuro, sem esses equipamentos.

Em especial, neste setor, buscou-se o estudo dos microcomputadores devido ao aumento exponencial deste mercado a cada ano, gerando quantidades impressionantes desses produtos. Conforme é apontado por Huisman (2008), somente na Europa, no ano de 2005, a quantidade de aparelhos eletrônicos que entraram no mercado foi um pouco superior a 9,3 milhões de toneladas. Desses equipamentos pode-se destacar a quantidade de computadores, que passou dos 48 milhões de unidades variando entre desktops e os computadores portáteis.

Esse crescimento não foi exclusivo da Europa. Na China foram vendidos cerca de 14 milhões de computadores no mesmo ano (HE et al., 2006) e nos Estados Unidos foram colocados no mercado mais de 24 milhões de computadores em 2006, sendo que a estimativa de crescimento surpreende com o passar dos anos (CEA, 2008).

Logo, segundo o PNUMA (2009), a falta de gerenciamento adequado do lixo eletrônico, assim como a ineficiência no controle desses resíduos, gera outro problema que não apenas envolve o meio ambiente. O descarte inadequado desses materiais em países em desenvolvimento resulta em problemas sociais, uma vez que os resíduos eletrônicos são tóxicos quando inflamados, o que prejudica a saúde das populações locais dos países que utilizam a reciclagem manual como fonte de renda principal para suas famílias, sem a utilização de nenhum equipamento ou processo que venham a diminuir a sua contaminação. Além disso, este sistema de reciclagem informal utiliza práticas perigosas como a queima a céu aberto do lixo que não pode ser vendido.

Vários processos foram desenvolvidos ao longo do tempo com o objetivo de se buscar a sustentabilidade, podendo destacar a reciclagem como um dos principais. Porém, a reciclagem é empregada mais como processos para soluções locais do que para a resolução de problemas globais, apesar da troca de informações ser importante na evolução do processo de reciclagem dos materiais por todo o mundo, ao mesmo tempo em que se toma consciência em relação as consequências de não adotá-la cruzarem as fronteiras dos países.

Linton et al. (2002) alerta que para a reciclagem se tornar algo viável é necessário uma análise criteriosa a respeito das diferentes formas de sua aplicação, e afirma que a inserção dos produtos reciclados como matéria prima

no processo depende do conhecimento das características do material a ser reciclado e dos processos que irão transformá-lo novamente em matéria prima.

Conhecendo esses parâmetros, outras ferramentas foram desenvolvidas visando otimizar o processo de reciclagem que contribuem na busca por soluções para os problemas do lixo eletrônico e seus efeitos mundiais. Tais ferramentas permitem sua utilização a níveis globais, por meio da troca de experiências e o desenvolvimento de uma cadeia de distribuição desses materiais a fim de estabelecer um aumento na eficácia do reaproveitamento destes produtos.

As ferramentas aqui estudadas são a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), a Produção mais Limpa e a Logística Reversa (LR) que podem encurtar o ciclo produtivo, coletando produtos obsoletos ou após seu ciclo de vida e retornando-os para o processo de produção, adaptado para receber esses materiais reciclados, visando trazer ganhos ambientais e econômicos tanto para as empresas, quanto para as nações e a sociedade de uma maneira geral.

Foi utilizada para a realização deste trabalho a abordagem qualitativa exploratória descritiva aplicada à um estudo de caso do pós-consumo dos microcomputadores, com o intuito de apresentar a viabilidade da aplicação de uma planta de reciclagem desses produtos no Brasil.

1.2 Justificativa

O cenário apresentado indica que há uma necessidade em conhecer a cadeia pós-consumo dos produtos eletrônicos portáteis, de uma maneira mais específica o microcomputador, em alguns conjuntos estudados (Monitor CRT, Monitor LCD, Notebook e Gabinete), visando conhecer suas características e as possibilidades de recuperação de seus componentes.

O presente estudo se justifica ainda pela necessidade de estudos a respeito do lixo eletrônico no Brasil, visando contribuir para a recuperação dos equipamentos eletrônicos, assim como uma discussão sobre a viabilidade desta prática.

1.3 Problemas da Pesquisa

Considerando o quadro exposto, as principais questões a serem respondidas pela presente pesquisa são:

- Como está a lógica de montagem, produção, reciclagem (reaproveitamento), implantação e os obstáculos para se estabelecer um ciclo de vida do microcomputador (conjuntos estudados), com base no TBL e na ACV, no Brasil?
- Existem tecnologias, ações governamentais, políticas públicas, suficientes e viáveis para o correto tratamento do microcomputador (conjuntos estudados) e acessórios, com base no TBL e na ACV, no Brasil?
- Qual a quantidade passível de reciclagem do microcomputador (conjuntos estudados), considerando a viabilidade da implantação de uma unidade recicladora no Brasil?

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo Geral*

O presente trabalho tem por objetivo geral identificar e analisar os aspectos do *Triple Bottom Line* associados à produção e descarte dos produtos eletrônicos, utilizando o microcomputador como estudo de caso, com o uso da ferramenta da ACV, via sistematização das informações sobre o fluxo dos equipamentos eletrônicos ao final de sua vida útil.

Assim como os impactos oriundos da cadeia pós-consumo desses equipamentos, visando o reaproveitamento de seus componentes com relação à viabilidade ambiental e econômica.

1.4.2 *Objetivos Específicos*

Para alcançar este objetivo, propõem-se os seguintes objetivos específicos:

- Identificar e desenvolver um trabalho em parceria com uma empresa nacional de grande porte do segmento de produtos eletrônicos, existente na RMC (Região Metropolitana de Campinas), com o intuito

de conhecer o início do processo de fabricação dos computadores portáteis, assim como as ações utilizadas para o recolhimento desses equipamentos após sua vida útil;

- Identificar e desenvolver um trabalho em parceria com uma empresa nacional de grande porte do segmento de coleta e reciclagem de produtos eletrônicos, existentes na RMC, com o intuito de estruturar toda a fase de fim de vida dos computadores portáteis, assim como a identificar as dificuldades da implantação da Logística Reversa para este setor;
- Identificar e quantificar os componentes eletrônicos de um microcomputador, visando identificar a fração do material que é economicamente inviável de ser reciclada, para fornecer suporte aos resultados coletados;
- Identificar e analisar a destinação dos equipamentos eletrônicos adotadas atualmente, visando apontar seus impactos à saúde e ao meio ambiente oriundos dessas práticas;
- Estimar a viabilidade técnica da reciclagem dos produtos eletrônicos, visando à re-utilização dos seus componentes, utilizando o indicador financeiro do “Payback” para uma unidade recicladora;
- Elaborar e descrever o fluxograma do processo de recuperação e reciclagem dos componentes eletrônicos, desde a entrada dos mesmos no processo de Manufatura Reversa.

1.5 Visão Macro da Pesquisa

A partir das definições do problema apresentado, assim como dos objetivos, o método de pesquisa seguirá o roteiro descrito na Figura 1.

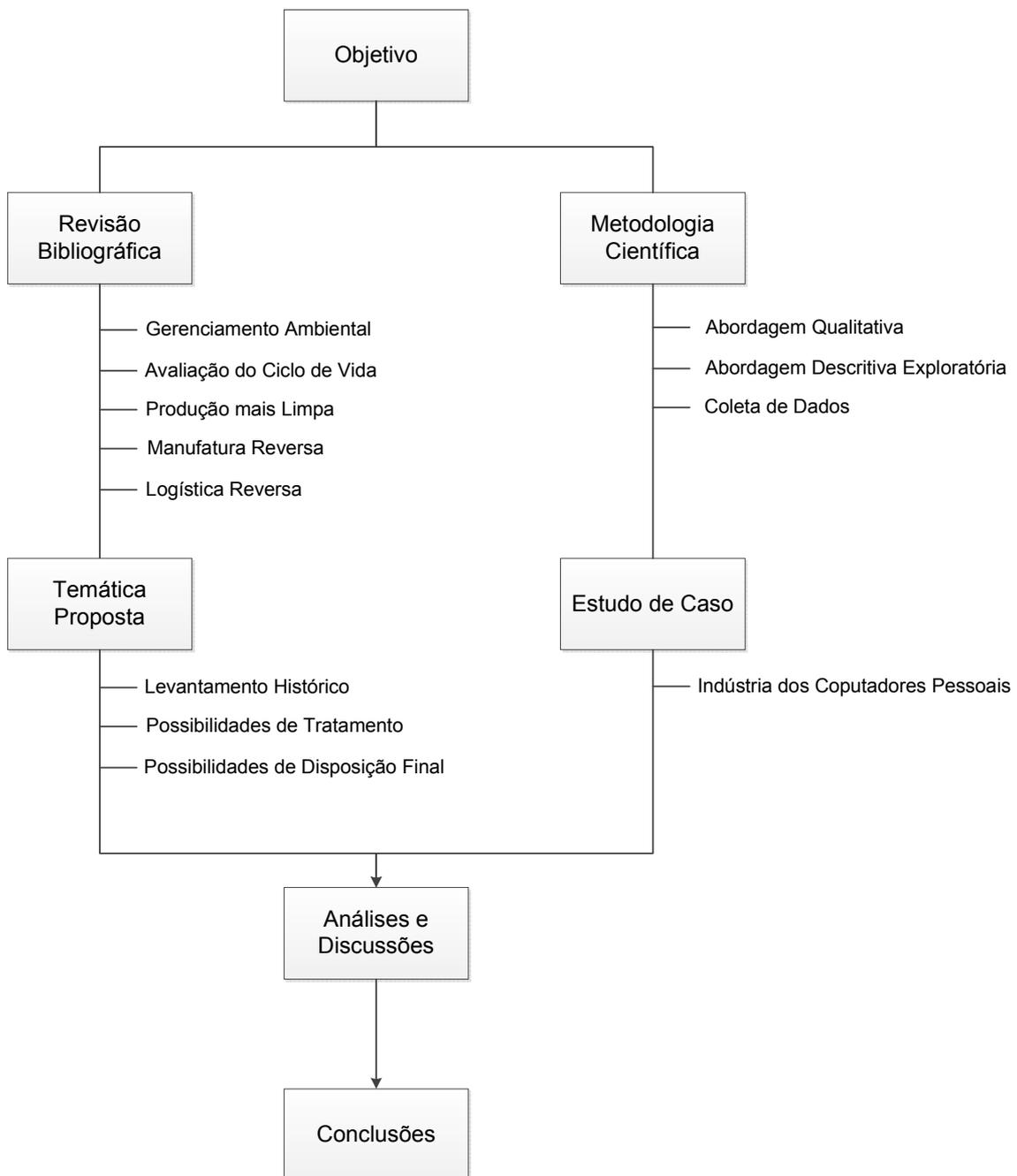


Figura 1: Visão macro da pesquisa.

1.6 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em capítulos que serão detalhados a seguir:

Capítulo 1 – Introdução – Neste capítulo são apresentados a importância do trabalho, a justificativa, o problema a ser estudado, os objetivos e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2 – Desenvolvimento Teórico – Este capítulo está dividido em sub-capítulos que abordam, temas que venham a dar suporte para a interpretação

e análise dos resultados, assim como para as conclusões finais, como: as pesquisas referentes ao gerenciamento ambiental, a história dos computadores, avaliação do ciclo de vida (ACV), ciclo de desenvolvimento do produto, logística reversa (LR), identificação dos componentes de um microcomputador, produção nacional dos produtos eletrônicos em relação a outros países, técnicas de recuperação dos produtos eletrônicos e as considerações finais do capítulo.

Capítulo 3 – Abordagem Metodológica – É apresentado neste capítulo a estrutura metodológica, sintetizada em um fluxograma a respeito das etapas do trabalho, são descritas também as metodologias utilizadas para a análise dos dados coletados e a técnica para a coleta dos dados.

Capítulo 4 – Resultados – Este capítulo apresenta os resultados coletados, assim como discussões a respeito do conceito do Triple Bottom Line em relação ao sistema de produção do estudo de caso.

Capítulo 5 – Conclusões – São apresentadas as conclusões finais após a discussão a respeito dos resultados obtidos em relação a problemática e os objetivos propostos, a partir da metodologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho.

São apresentadas algumas propostas para novas pesquisas voltadas ao estudo da ACV de componentes de microcomputadores.

2 DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados os conceitos que serão tomados como base para interpretação dos resultados adquiridos em relação aos objetivos e métodos apresentados. Para tal, este capítulo está dividido em sub-capítulos com o objetivo de distribuir melhor os conceitos estudados.

2.1 Histórico do Gerenciamento Ambiental

A consciência da complexidade dos impactos causados ao meio ambiente, oriundos das atividades humanas não surgiu repentinamente, porém as atitudes em prol do meio ambiente demoraram a ganhar espaço no ambiente corporativo.

Tal espaço não resulta necessariamente em diminuição da escala produtiva, mas na readaptação do processo visando um menor impacto ao meio ambiente.

Historicamente, a questão ambiental passou a mobilizar as pessoas ao redor do mundo, principalmente a partir da metade do século XX, quando começaram a se organizar pequenos grupos sociais com o intuito de alertar sobre o problema ambiental e empreender ações contra a degradação do meio ambiente (MOREIRA, 2007). Nesse período as questões ambientais começaram a ser estudadas buscando criar conceitos básicos, que seriam aperfeiçoados no futuro.

Durante a guerra fria a questão ambiental foi, de uma maneira geral, relegada a um segundo plano, ocasionando um retrocesso no desenvolvimento da pesquisa científica a respeito dos problemas ambientais, uma vez que nesse período o maior receio de todos era com a possibilidade iminente de uma terceira guerra mundial com possibilidades e ameaças do uso de armas nucleares por algumas das potências da época. Outro fato foi o direcionamento das pesquisas a fim de suprir a crescente demanda pelo desenvolvimento da indústria bélica, o que reduziu as pesquisas em torno de outros temas (BRESNAHAN; MALERBA, 1999).

Como resultado dessa fase de ameaças e testes nucleares que afetou grande parte da população, surgiu um episódio emblemático em 1971, no qual um

grupo de manifestantes motivados pelo sonho de ajudar a formar um mundo mais “verde e pacífico” rumou para a ilha Amchitka, no Alasca, com o objetivo de parar os testes nucleares naquele santuário.

Tal fato foi de grande importância para o gerenciamento ambiental, pois dias antes do embarque, o grupo sentiu a necessidade de adotar um nome para o movimento que, segundo os integrantes, tinha de mencionar tanto a paz quanto o verde, surgindo assim pela primeira vez o “*Greenpeace*”, grupo de manifestações em prol do meio ambiente até os dias atuais (GREENPEACE, 2012).

Um pouco antes desse período, em 1962, Rachel Carlson publicou o livro “A Primavera Silenciosa”, com o objetivo de mostrar que o meio ambiente tem uma capacidade finita de absorção de poluentes, analisando a ação dos pesticidas no solo, o que fez seu livro ter uma grande repercussão internacionalmente na época (CARLSON, 2010).

Seis anos após esse lançamento, em 1968, houve a Conferência sobre a Biosfera sediada na cidade de Paris, que consistiu em uma reunião de especialistas em ciência buscando debater sobre essas questões, fato que marcou o despertar da consciência ecológica a nível mundial (LOBO, 2000).

No mesmo ano, o microbiologista, educador, escritor e ambientalista francês René Jules Dubos lançou seu livro, intitulado: “*So Human an Animal*”, defendendo que um organismo vivo, no qual englobou desde um micróbio até o próprio universo, poderia ser entendido na perspectiva das suas relações com os elementos que formam o seu ambiente, ressaltando assim a importância da natureza para o ser humano. Suas influências a respeito da preservação do meio ambiente proporcionaram-lhe, na época, em parceria com a economista inglesa Barbara Ward, redigir o relatório, “*Only One Earth: The Care and Maintenance of a Small Planet*”, utilizado em 1972 na Conferência das Nações Unidas (LINO, 2011).

Surgiu também, neste período, o clube de Roma, fundado em 1968, com o objetivo de unir pensadores e cientistas em torno de assuntos internacionais e, em particular, para debater as preocupações com o consumo de recursos

limitados em um mundo cada vez mais interdependente e em crescimento acelerado (CLUB OF ROME, 2012).

O Clube de Roma se destacou na Conferência de Estocolmo, em 1972, onde apresentou seu primeiro relatório *“The Limits to Growth”*, o qual explorava uma série de cenários destacando as opções abertas à sociedade para conciliar o progresso sustentável dentro das restrições ambientais.

A Conferência das Nações Unidas em Estocolmo tinha, portanto, a meta de discutir a relação do meio ambiente humano, atentando para o crescimento populacional na época, que dificultava as questões de saneamento básico adequado e, principalmente, elevava a poluição e a degradação ambiental.

Naquela ocasião os problemas ambientais estavam concentrados na poluição atmosférica e hídrica, uma vez que essa degradação chegava a níveis alarmantes, com poucas ações por parte dos países para corrigi-las, assim como a constatação de uma ausência no conhecimento científico a respeito das suas consequências, em contraste com o consenso de que o desenvolvimento não podia ser interrompido ou reduzido naquele momento (LOBO, 2000).

Nessa Conferência, que foi a primeira Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente, ficou evidente ainda uma diferença de pensamento entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento em relação ao meio ambiente, uma vez que os países desenvolvidos apontaram a pobreza nos países em desenvolvimento como responsável pelos problemas ambientais dos mesmos, ao mesmo tempo em que eles retiraram de si as responsabilidades pelos problemas ambientais que vinham ocorrendo na época.

Porém, este evento trouxe também resultados importantes, dos quais se destacam a declaração de Estocolmo e a criação da *United Nations Environment Programme* (UNEP), que se transformou com o passar do tempo em uma referência mundial em relação ao meio ambiente, coordenando as inovações ambientais das nações assim como o desenvolvimento dos países na implantação de políticas e práticas ambientais.

Como marco da UNEP, pode-se destacar, logo após a Conferência de Estocolmo, a criação do conceito de eco desenvolvimento em 1973, definido como o desenvolvimento econômico baseado na questão social e ecológica; além de criar um plano de ação e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2009). Tal conceito antecipou o que seria definido, posteriormente como *Triple Bottom Line*.

Na década de 1980 começou, então, a ser discutido o conceito de desenvolvimento sustentável. Foi em 1987, por intermédio de uma comissão estabelecida pela ONU denominada Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) por meio do relatório de Brundtland, conhecido como “*Our Common Future*” que o desenvolvimento sustentável foi estruturado e definido como sendo “um desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações”. Consistiu em um modelo de desenvolvimento econômico harmonizado com a conservação ambiental o qual visa não esgotar os recursos naturais para o futuro, por meio de um desenvolvimento político, social, cultural e ambiental equilibrado, que satisfaça as necessidades das gerações atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades (WWF, 2012; CMMAD, 1987; WCED, 1987), conceito utilizado até os dias atuais quando se refere à definição do desenvolvimento sustentável.

O relatório foi dividido em três partes: na primeira abordou as preocupações comuns para os países, como o desenvolvimento sustentável e as regras da economia internacional; na segunda parte tratava os desafios para as práticas sustentáveis; e na terceira parte trazia a necessidade de implementação dos chamados esforços comuns como paz, segurança, desenvolvimento e meio ambiente (CMMAD, 1987).

Além de um conceito, esta definição trouxe dois princípios relacionados ao meio ambiente: o princípio de necessidades, que está relacionado com o atendimento das necessidades básicas da sociedade; e o da noção da limitação imposta pelo estado da tecnologia e da organização social sobre a capacidade do meio ambiente para atender às necessidades atuais e futuras, levando em consideração as características finitas dos recursos naturais

(UNEP, 2009). Portanto, tem-se que a sustentabilidade está apoiada em três pilares que precisam estar em constante sintonia (FERRAZ, 2003):

- O ecológico, que considera a manutenção dos ecossistemas, seus recursos e seus serviços, para serem utilizados pelas gerações atuais e futuras;
- O social, que trata da equidade entre as várias populações e da compatibilidade das tecnologias e sistemas antrópicos com os valores éticos e culturais dos diferentes grupos sociais; e
- O econômico, tradicionalmente o enfoque dominante, que se refere à rentabilidade econômica ao longo do tempo .

Entretanto, a definição apresentada pela WCED, CMMAD e WWF, apesar de ser completa, aborda uma visão macro econômica que acaba se tornando difícil para as organizações, em relação a aplicabilidade do conceito, proporcionando pouca orientação sobre como devem identificar as necessidades presentes contra as necessidades futuras, determinar as tecnologias e recursos para atender a essas necessidades, e entender como equilibrar eficazmente responsabilidades organizacionais entre os múltiplos stakeholders (STARIK; RANDS, 1995).

Deste modo, abordando os três pilares apresentados, John Elkington desenvolveu o conceito do *Triple Bottom Line* (TBL) em 1988, integrando as questões sociais, ambientais e econômicas considerando e equilibrando, simultaneamente, essas questões a partir de um ponto de vista microeconômico (GIMENEZ et al., 2012).

Assim, o *Triple Bottom Line* sugere que no cruzamento do desempenho social, ambiental e econômico, há atividades que as organizações podem se envolver em que não só afeta positivamente o meio ambiente natural e da sociedade, mas que também resultam em benefícios econômicos de longo prazo e vantagem competitiva para a empresa (CARTER; ROGERS, 2008).

Segundo Elkington (1998), para alcançar a excelência no desempenho do conceito do TBL novos tipos de parcerias econômicas, sociais e ambientais são necessárias. Essas parcerias contribuem para que cada parceiro execute

tarefas tradicionais de forma mais eficiente, proporcionando uma plataforma para se chegar em direção às metas que nenhum deles conseguiria por conta própria.

Ainda, segundo o autor, os “*stakeholders*” (comumente conhecidos como as partes interessadas ou todos os atores envolvidos em relação a determinado produto, serviço ou ação por parte da empresa), passam a ser um fator determinante para o desenvolvimento corporativo, tal que para vencer no mercado comercial é necessário, independente do porte da empresa ou mesmo se forem economias nacionais ou regionais, aprender a ganhar a lealdade de seus principais “*stakeholders*”, levando em consideração suas inter-relações.

Portanto, o TBL busca descrever o impacto social e ambiental das atividades de uma organização de uma forma mensurável em termos econômicos, com o intuito de mostrar as melhorias ou fazer uma avaliação mais profunda a respeito de determinada ação, produto desenvolvido ou serviço prestado (UNEP, 2009).

A Figura 2 apresenta de uma maneira simplificada, o conceito do TBL, esquematizando a interação de seus pilares para se atingir o desenvolvimento sustentável.

É possível perceber que o desenvolvimento sustentável deve ser uma consequência do desenvolvimento social, econômico e da preservação ambiental tal que a interação entre esses três pilares resultam em fatores que beneficiam à sociedade, não só em relação à prática da sustentabilidade, mas também para um crescimento equilibrado e sadio. Como exemplos do desenvolvimento de aspectos econômicos, têm-se a redução nos custos de extração, assim como nas distâncias de transporte e os aspectos sociais que relacionam os interesses sociais característicos de cada nação ou região de acordo com as legislações e normas vigentes no momento (BARBOSA, 2008).

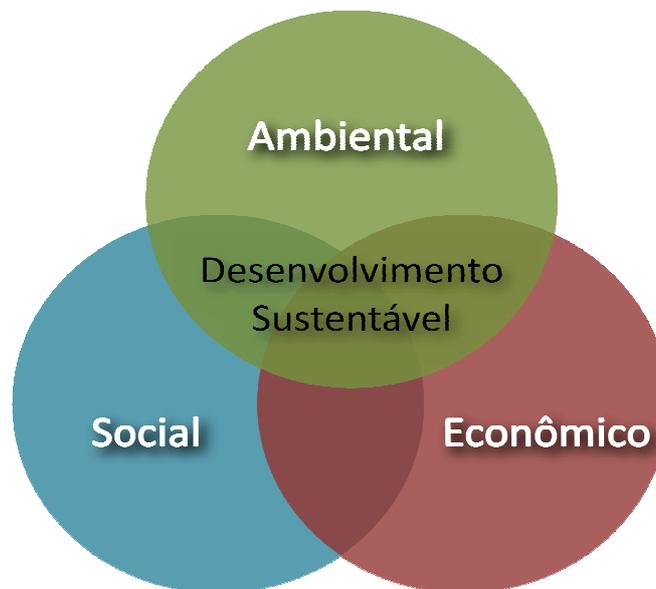


Figura 2: Esquema relacionando os três pilares do TBL (adaptado BARBOSA, 2008).

Entretanto, em relação aos resíduos eletrônicos, há uma particularidade, quando se pensa em um sistema que visa sua coleta e posterior reciclagem em alguns países em desenvolvimento, como no Brasil. Nesses países, é importante enfatizar a questão cultural, sendo necessário separá-la do ambiente social, destacando que sua eficiência depende da cultura presente no país como apresentado na Figura 3.

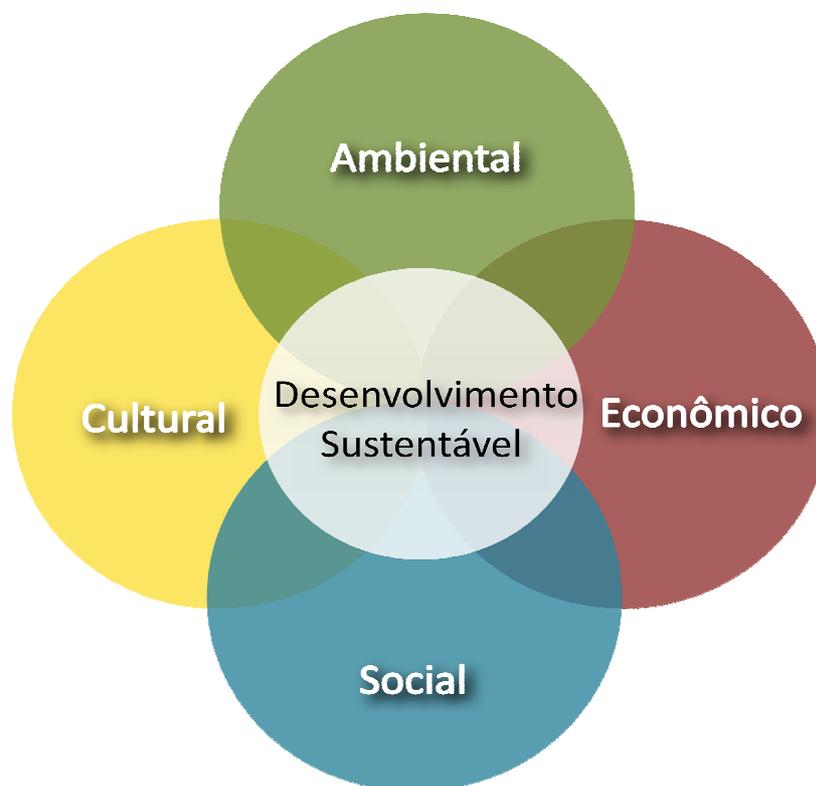


Figura 3: Esquema relacionando os três pilares do TBL destacando a influência da Cultura para alguns países (adaptado BARBOSA, 2008).

Carter; Rogers (2008) abordam para esta questão dentro do SSCM (“*Sustainable Supply Chain Management*” – “Gestão da Cadeia de Suprimentos Sustentável”), na qual destacam que há quatro aspectos (gestão de riscos, transparência, cultura e estratégia) que se inter-relacionam com os pilares do TBL e fornecem apoio as ações em busca do desenvolvimento sustentável que são apresentadas na Figura 4.

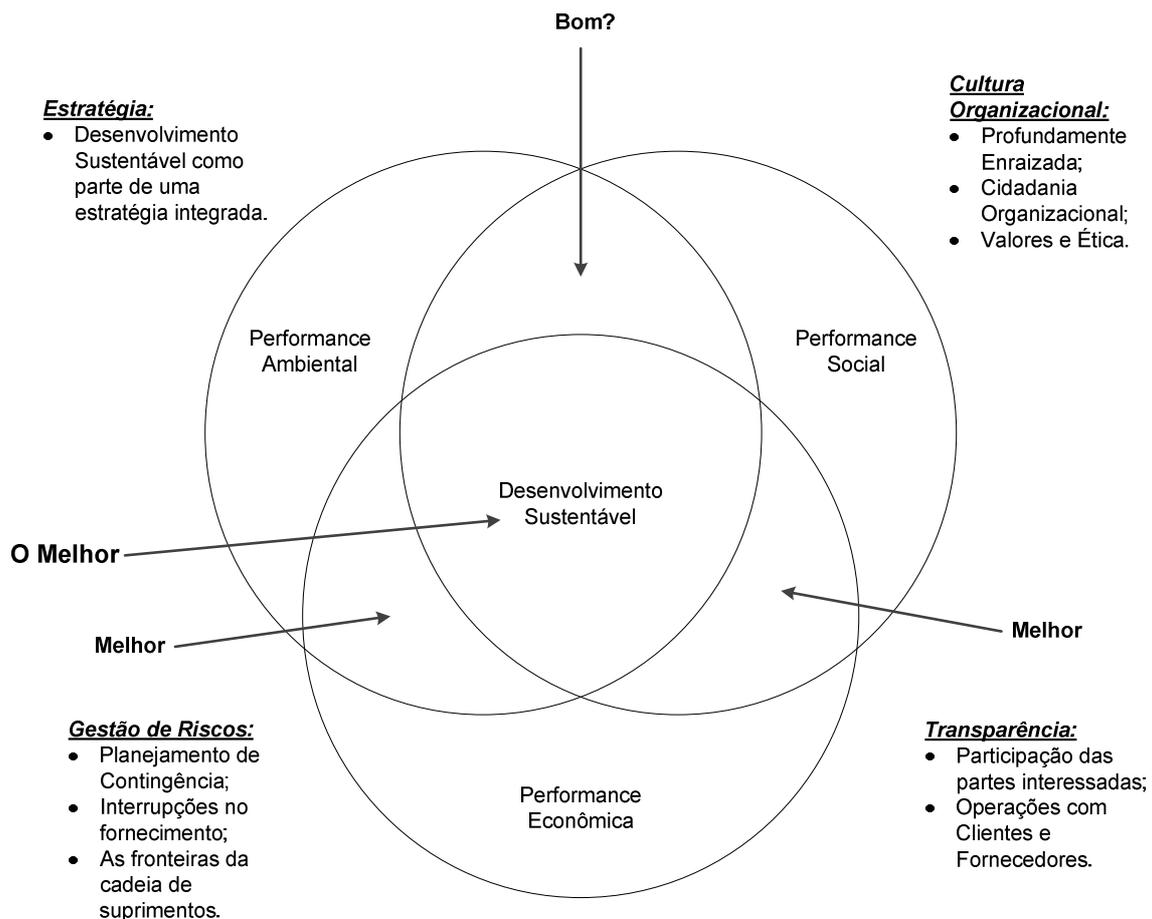


Figura 4: Integração dos quatro aspectos da Gestão da Cadeia de Suprimentos Sustentável com os pilares do TBL (adaptado de CARTER; ROGERS, 2008).

Entretanto, vários pontos de interrogação são levantados quando se busca relacionar os pilares do TBL com as facetas externas que o rodeiam, o que complementa a perspectiva empreendida por alguns estudiosos em que as iniciativas ambientais e sociais geram um alto custo para as empresas. Por exemplo, Walley; Whitehead (1994) afirmam que, "Responder aos desafios ambientais sempre foi uma proposição cara e complicada para os gestores", e sugerem que, "situações ganha-ganha" são difíceis de encontrar inicialmente e

que podem vir a serem ofuscadas pelo custo total do programa de meio ambiente da empresa.

Entretanto, devido ao aumento das preocupações ambientais por parte dos “*stakeholders*”, a partir das estratégias e ferramentas desenvolvidas relacionadas ao clima e as consequências das ações antrópicas, várias ferramentas e ações foram desenvolvidas e criadas, para se buscar meios de tornar a prática ambiental mais fácil para o meio corporativo.

Em 1990 o “*Intergovernmental Panel on Climate Change*”, IPCC, (Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas), voltado para o estudo dessa problemática e, principalmente para a produção de melhores dados relativos às mudanças climáticas, preparou dois importantes relatórios que contribuíram para o entendimento do aquecimento global. O primeiro relatório apresentou dados a respeito das mudanças climáticas e a contribuição das ações antrópicas para o seu agravamento. O segundo relatório concluiu que essas mesmas ações acabaram alterando significativamente os ecossistemas, discorrendo também sobre a alteração das mesmas nas variações dos climas regionais, apresentando informações a respeito da escassez dos recursos naturais com o passar do tempo, principalmente em relação à alimentação e aos recursos hídricos (IPCC, 2007a).

Outro fato importante ocorreu em 1992, quando o Brasil foi o país sede da segunda Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. De acordo com a UNEP (2012), a Rio-92 abriu caminho para os principais acordos ambientais desde então, incluindo convenções da ONU sobre mudanças climáticas, precursoras do Protocolo de Kyoto, assinado em 1997 por 136 países, que tem como objetivo a redução na emissão de gases de efeito estufa por parte dos países, sendo um dos poucos acordos que entraram em ação efetivamente, e sobre a biodiversidade.

Além desses avanços, pode-se citar ainda como resultado desse evento a definição dos princípios para a exploração florestal sustentável, estimulando a criação de planos nacionais para o desenvolvimento sustentável e a Agenda 21, um acordo assinado por 179 países com objetivo de traduzir em ações os conceitos do desenvolvimento sustentável, (UNEP, 2012).

Além disso, a Agenda 21, o principal documento oriundo da Rio-92, buscou comprometer os países a mudar suas políticas econômicas, sociais e ambientais voltadas para o desenvolvimento sustentável; mas não foi posta em prática conforme prometido pela maioria dos países que a assinaram, sendo mais uma ferramenta ambiental que não foi implantada na prática.

Após a Rio-92, em 2002 foi realizada a Rio+10, a maior reunião já feita pela ONU em prol do meio ambiente, com 185 países presentes em Johannesburgo, na África do Sul. Um dos objetivos dessa Conferência foi avaliar como a questão ambiental se desenvolveu desde a Rio-92, assim como fazer uma revisão da temática ambiental, buscando propor alternativas para a implementação de um sistema de desenvolvimento sustentável (JOHANNESBURG, 2012).

Porém, devido às divergências políticas, principalmente a partir da posição dos Estados Unidos, não se obteve grandes avanços, uma vez que os norte americanos se recusaram a assumir medidas para diminuir sua capacidade produtiva e o seu grau de crescimento, assim como já havia ocorrido na Rio-92 e na assinatura do Protocolo de Kyoto.

Após a Conferência de 2002, várias atitudes locais passaram a ser tomadas e a pesquisa científica passou a se intensificar nessa área, podendo ser encontrados diversos estudos a respeito dos maiores problemas ambientais, como aquecimento global, desmatamento, ameaça à biodiversidade, entre outros pelo mundo.

Em 2007 a ONU lançou um novo relatório, "*Environment for Development*" (GEO4, 2007), apontando, de uma maneira geral, para os avanços científicos e alertando para as principais ameaças das ações antrópicas para o meio ambiente. Este relatório aponta, portanto, para questões como a diminuição da biodiversidade, e as espécies que já são consideradas extintas; para a poluição do ar que já afeta a saúde das populações de grandes cidades como São Paulo e Changai; para a poluição das águas, que vem obrigando algumas nações a desenvolver meios de consumir a água do mar devido à falta de água doce em condições do consumo humano; para a poluição dos solos devido aos processos produtivos e a falta de consciência da população em relação ao despejo dos resíduos sólidos urbanos, assim como a falta de um sistema de

coleta desses resíduos de maneira eficiente em várias partes do mundo, como ocorre no Brasil.

Em 2012, aconteceu a Rio + 20, que reuniu cerca de 180 nações-estados, intitulada “Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável”, que buscava esclarecer temas como “a estrutura institucional para o desenvolvimento sustentável” e “economia verde no contexto do desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza”. A Conferência buscou também reafirmar os planos e princípios já debatidos nas conferências anteriores, além de buscar envolver os principais grupos econômicos, assim como as demais partes interessadas, no desenvolvimento sustentável (ONU, 2012).

Ainda segundo o relatório, como resultado da Rio + 20, tem-se o comprometimento em cumprir os compromissos voluntariamente assumidos até então pelas nações e, ao longo de 2012, a busca pela implementação de políticas concretas, planos, programas, projetos e ações para promover o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza.

De acordo com Zaccai (2012), que abordou a temática do desenvolvimento sustentável desde a divulgação do Relatório de *Brundtland* até a Conferência da “Rio+20”, a expressão desenvolvimento sustentável baseia-se em ações, colaboração e voluntariedade, de tal fato que a preservação do meio ambiente deve estar vinculada ao tratamento de questões econômicas e sociais, não podendo nenhuma delas ser tratada isoladamente, relacionando a evolução do cenário político ambiental nas décadas de 70 e 80 para a década passada, conforme mostrado na Tabela 1.

A evolução da consciência ambiental nos diversos atores da sociedade evidencia as definições apresentadas no TBL, uma vez que as empresas se veem forçadas a buscar práticas mais sustentáveis para os seus processos, sem contar os relatórios alarmantes que estão sendo produzidos e as mudanças nas legislações vigentes.

Tabela 1: Evolução do cenário político ambiental (adaptado ZACCAI, 2012).

Políticas Ambientais	Década de 70 e 80	2010
1 Instrumento da política.	Controle e remediação.	Instrumentos baseados na necessidade de mercado.
2 Partes envolvidas.	Governo.	Governo e “ <i>stakeholders</i> ”.
3 Parte dominante das ações.	Ações industriais direcionadas pela tecnologia.	Ações em conjunto com indústria e consumidores envolvendo tecnologia, economia e finanças.
4 Conhecimento sobre o meio ambiente.	Superficial ou limitado a especialistas.	Extensa e difundida em muitos âmbitos da sociedade.
5 Discurso sobre questões ambientais.	O verde era visto como importante (antes de 73) e então se buscou sua essência.	O reconhecimento da gravidade de alguns problemas, a tendência do “pensamento verde” resultando em oportunidades de negócio”.
6 Questões sociais.	Preocupações superficiais ou negligenciadas.	Preocupações com a justiça ambiental e a influência da degradação ambiental sobre a pobreza.

Estudos e relatórios continuam sendo produzidos e divulgados, como outro estudo apresentado pelo IPCC, que apontam para a evolução dos problemas ambientais, agravados pela atividade humana com o passar do tempo, transformando até a opinião de alguns críticos dessas preocupações, uma vez que os mesmos passaram a aceitar a existência de tais problemas e desenvolver propostas visando o bem estar humano e ambiental. Como exemplo, tem-se como destaque do relatório a questão do agravamento do aquecimento global, que vem alterando todo o ciclo do planeta, fazendo a natureza se adaptar a essas mudanças aceleradas pela atividade humana, percebendo a variação nas temperaturas das estações do ano e a elevação da temperatura média anual com o passar dos anos (IPCC, 2007b).

Atualmente, acredita-se ser importante rever o índice de crescimento e desenvolvimento das sociedades, principalmente os países emergentes, para que se possa atingir um desenvolvimento adequado unindo tanto os aspectos ambientais como os econômicos e sociais.

Além disso, é preciso retirar os ideais do desenvolvimento sustentável do papel e aplicá-los na prática, com o desenvolvimento de cadeias produtivas eficientes

das quais os resíduos de uma atividade industrial passem a ser usados como insumos / matéria prima para outra atividade industrial, reduzindo o desperdício de recursos naturais formando, conseqüentemente, um ciclo produtivo contínuo em relação aos seus resíduos sólidos.

Neste sentido, a norma ISO (“International Organization for Standardization”), fundada em 1947 por um grupo de 25 países que buscavam criar uma organização internacional para facilitar a coordenação internacional e unificar os padrões industriais, criou a família ISO 14000, que aborda os vários aspectos da gestão ambiental. Fornece ferramentas práticas para as empresas e organizações que buscam identificar e controlar o seu impacto ambiental e melhorar constantemente o seu desempenho ambiental (ISO, 2009).

Ainda segundo o relatório, com o objetivo de restringir e detalhar melhor os impactos ambientais foi criada em 1996, e atualizada em 2004, a ISO 14001 que estabelece os critérios para um sistema de gestão ambiental e a certificação do mesmo. Ele não indica os requisitos para o desempenho ambiental, mas traça um quadro que uma empresa ou organização pode seguir para criar um sistema de gestão ambiental eficaz. Pode ser usado por qualquer organização, independentemente da sua atividade ou setor, tal que a certificação na ISO 14001:2004 pode fornecer uma garantia para a gestão da empresa e empregados, bem como as partes interessadas externas, de que o impacto ambiental está sendo medido, melhorado e apresenta benefícios como:

- Redução do custo da gestão de resíduos;
- Economia no consumo de energia e materiais;
- Custos de distribuição mais baixos;
- Melhoria da imagem da empresa entre os reguladores, clientes e do público.

Segundo Oliveira (2010), a norma ISO 14001 foi projetada para fornecer uma estrutura internacionalmente reconhecida para a gestão, medição, avaliação e auditoria ambiental, não visando estabelecer objetivos em relação ao desempenho ambiental, mas fornecer às organizações as ferramentas para

avaliar e controlar o impacto ambiental de suas atividades, produtos ou serviços.

A Figura 5 apresenta o número de empresas certificadas com a ISO 14001, comparando o Brasil com alguns países, entre os anos de 1999 e 2012, evidenciando a posição nacional com essas economias.

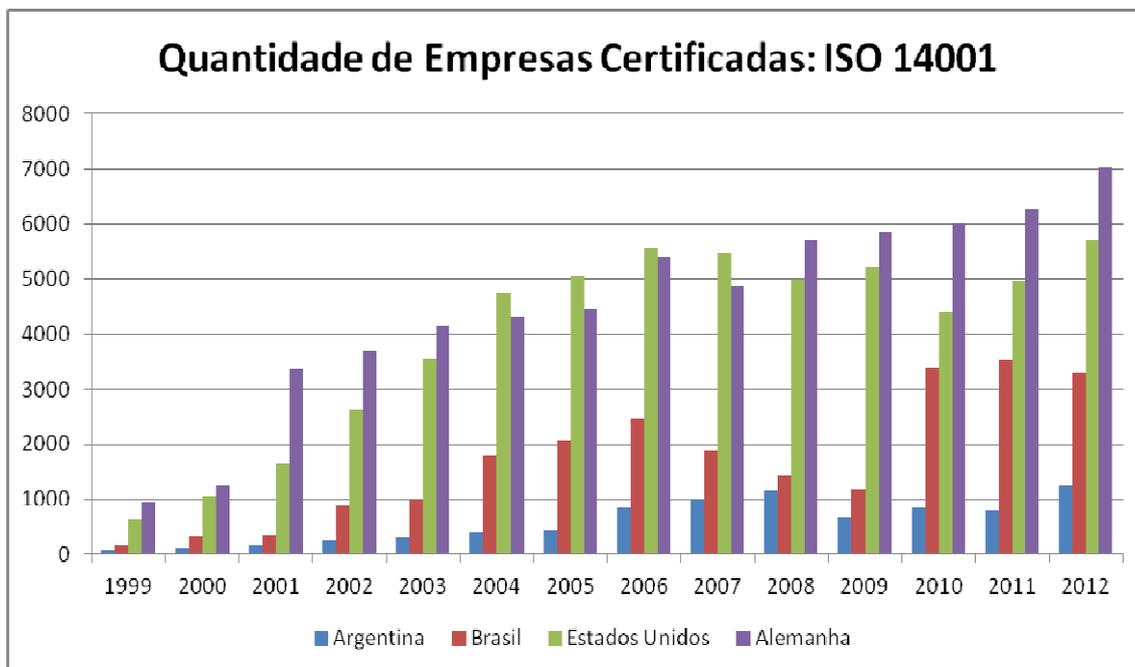


Figura 5: Quantidade de empresas certificadas com a ISO 14001 (adaptado ISO, 2011).

É possível observar a diferença entre os países em desenvolvimento e os países de primeiro mundo quando se analisa a quantidade de empresas certificadas com a ISO 14001, o que nos remete a demora dos países em desenvolvimento, como o Brasil, em adotar medidas que venham a incentivar o desenvolvimento de sistemas de produção alinhados com o meio ambiente, visando à implantação do desenvolvimento sustentável.

Este número fica mais evidente quando se observa o total de empresas certificadas em cada país a partir de 1999. Na Argentina foram certificadas cerca de 8394 empresas no intervalo dos 14 anos divulgados, o que gera uma média de aproximadamente 600 empresas por ano. No Brasil o número de empresas certificadas é de cerca de 23755 o que gera uma média de aproximadamente 1697 empresas, que apesar de ser superior a Argentina, ainda fica muito atrás dos países considerados de primeiro mundo (ISO, 2011).

Ainda segundo a ISO, nos Estados Unidos foram certificadas cerca de 55625 empresas nesses 14 anos, o que gera uma média aproximada de 3973 empresas e na Alemanha foram certificadas cerca de 63361 empresas com média aproximada de 4526 empresas por ano.

No Brasil, um marco na preocupação com as premissas ambientais foi à estruturação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A Tabela 2 mostra a linha do tempo na formulação da PNRS (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), 2013).

A PNRS implantada no Brasil usa o conceito do TBL, uma vez que aborda os três pilares do desenvolvimento sustentável propostos por Elkington. Pode-se considerar que a Lei contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário do país no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo dos resíduos sólidos (MMA, 2013).

Entretanto, na prática a PNRS ainda não foi implantada com o sucesso esperado, podendo encontrar alguns aspectos a serem melhorados em sua execução, seja por motivos econômicos, sociais ou ambientais, o que contribuiu com o desenvolvimento deste trabalho.

Outro tema incentivado pelo aproveitamento dos resíduos sólidos é o chamado "*Green Building*" ("Construção Verde") que consiste em um sistema de construção ambientalmente responsável e eficiente ao longo do seu ciclo de vida, que engloba a partir da concepção, construção, operação, manutenção, renovação e demolição de um empreendimento com o objetivo de reduzir o impacto global do ambiente construído sobre a saúde humana e o ambiente natural (VATALIS, et al., 2013; ZUO; ZHAO, 2014).

Existem muitas definições de construção verde, como a apresentada por Kibert (2008) que defini o edifício verde como: "... instalações saudáveis projetadas e construídas com recursos utilizados de maneira eficiente, utilizando princípios baseados no desenvolvimento sustentável". É interessante notar também que o conceito de edifício verde tem sido usado como um termo intercambiável entre a construção sustentável e a construção de alto desempenho.

Tabela 2: Cronograma da implantação da PNRS (adaptado MMA, 2013).

Ano	Descrição
1991	Foi desenvolvido o projeto de Lei 203 que dispõe sobre o acondicionamento, coleta, tratamento, transporte e destinação dos resíduos de serviços de saúde.
1999	Proposição da Conama 259 intitulada: “Diretrizes Técnicas para a Gestão de Resíduos Sólidos”. Entretanto, apesar de ser aprovada pelo plenário do conselho, não chegou a ser publicada.
2001	Criada e implementada a Comissão Especial da Política Nacional de Resíduos com o objetivo de apreciar as matérias contempladas nos projetos e formular uma proposta substitutiva global. Com o encerramento da legislatura, a Comissão foi extinta.
2003	Foi instituído o Grupo de Trabalho Interministerial de Saneamento Ambiental a fim de promover a integração das ações de saneamento ambiental, no âmbito do governo federal. Foi criado também o Programa Resíduos Sólidos Urbanos, além de ser realizada a I Conferência de Meio Ambiente.
2004	O MMA promoveu grupos de discussões interministeriais e de secretarias do ministério para a elaboração de proposta visando a regulamentação dos resíduos sólidos.
2005	Encaminhado anteprojeto de lei de “Política Nacional de Resíduos Sólidos”, além de ter sido realizada a II Conferência Nacional de Meio Ambiente, para consolidar a participação da sociedade na formulação de políticas ambientais. Um dos temas prioritários foram os resíduos sólidos
2006	Aprovado um relatório que trata do PL 203/91 acrescido da liberação da importação de pneus usados no Brasil.
2007	Executivo propõe o projeto de lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos, considerando o estilo de vida da sociedade contemporânea, que aliado às estratégias de marketing do setor produtivo, levam a um consumo intensivo provocando uma série de impactos ambientais, à saúde pública e sociais incompatíveis com o modelo de desenvolvimento sustentado que se pretende implantar no Brasil.
2009	Uma minuta do Relatório Final foi apresentada para receber contribuições adicionais.
2010	Foi aprovado e sancionado o substitutivo ao Projeto de Lei 203/91, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, impondo obrigações aos empresários, governos e cidadãos no gerenciamento dos resíduos. Foi criado também o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, além de outras providências.

Robichaud; Anantatmula (2010) apontaram ainda para o fato de existirem quatro pilares na busca do desenvolvimento do conceito do “*Green Building*”:

uma minimização dos impactos sobre o meio ambiente; uma melhora nas condições de saúde dos ocupantes; o retorno do investimento para os desenvolvedores e a comunidade local; e a utilização da metodologia do ciclo de vida durante todo o processo de planejamento e desenvolvimento da construção. Tais conceitos contribuem com a diminuição na geração dos resíduos sólidos urbanos.

2.2 A História dos Computadores

O lixo eletrônico é um problema de escala mundial, uma vez que a produção de eletroeletrônicos evoluiu de forma significativa nas últimas décadas. Portanto, é importante conhecer um pouco da história dos produtos eletrônicos e, de uma maneira mais específica, a história dos computadores, para entender seu processo evolutivo antes de uma análise específica em relação à degradação ambiental ocasionada por sua produção.

Antes de iniciar uma passagem pela história dos computadores, é importante identificar sua função e a ideia que originou sua criação. O computador, em uma definição generalizada obtida no Dicionário Aurélio (2013), significa “aquele que faz contas”, ou ainda “aquele que computa. Consiste de uma máquina composta de um número variável de unidades especializadas, comandadas por um programa, que, sem intervenção humana direta, permite efetuar complexas operações aritméticas e lógicas com fins estatísticos, administrativos, contabilísticos”. Portanto, a história do computador surgiu quando o ser humano desenvolveu a primeira forma de calcular números, o que ocorreu na antiguidade.

A Tabela 3 apresenta a evolução do computador, partindo da primeira forma de calcular desenvolvida pelo ser humano, citando alguns dos inventos que contribuíram para o desenvolvimento dos computadores até meados do século passado (BRESNAHAN; MALERBA, 1999; GUGIK, 2009; IBM, 2008).

Tabela 3: Evolução dos computadores a partir da primeira forma de calcular projetada pelo ser humano (Compilado pelo próprio autor).

ANO	INVENTO	INVENTOR	CARACTERÍSTICA
Aprox. 5 mil AC	Ábaco	Povos da Mesopotâmia	Primeira forma de calcular desenvolvida que consistia em um sistema simples de madeira, com função facilitar os cálculos no comércio de mercadorias, utilizando as operações matemáticas de adição e subtração, sendo copiado por outros povos como Grécia e Roma.
1638	Régua de Cálculo	Willian Oughtred	Tabela que facilitava a multiplicação de números, algo muito trabalhoso até a época. Possuía uma régua que continha números já posicionados e organizados de tal forma que ao caminhar com a régua a combinação apontava os resultados de maneira eficiente.
1642	Máquina de Pascal	Blaise Pascal	Primeira calculadora mecânica que realizava apenas a operação de adição através de um sistema de roldanas que giravam para efetuar os cálculos.
1694	–	Leibniz	Aprimorou o invento de Pascal conseguindo inserir a função de multiplicação na calculadora mecânica.
1820	–	Charles Babbage	Calculadora mecânica que conseguia realizar as quatro operações matemáticas básicas.
1820 - 1835	Máquina das Diferenças	Charles Babbage	Projeto que visava realizar operações mais complexas como cálculos trigonométricos, sendo posto em prática apenas anos depois devido seu custo.
1837	Engenho Analítico	Charles Babbage	Máquina que chegava a ter uma precisão de 50 casas decimais, utilizando alguns registradores adaptados da indústria têxtil.
Meados do Séc. XIX	–	George Boole	Desenvolveu a teoria lógica, conhecida como Álgebra Booleana, que reduzia a representação dos resultados em apenas dois números: 0 e 1, significando falso e verdadeiro, respectivamente.
Final Séc. XIX	–	Herman Hollerith	Unindo os conhecimentos da indústria têxtil, idealizou um sistema de marcação que trocava o famoso X feito a caneta por furos em cartões que eram processados por diversas máquinas elétricas para a soma e contagem dos dados.

Desse período, cabe destacar ainda a grande contribuição de Babbage para a história dos computadores com algumas ideias que, apesar de não terem sido colocadas em prática na época, foram discutidas com o passar do tempo. Ele foi um dos primeiros a relatar sobre a harmonia que existia entre as máquinas e a matemática, afirmando que as operações matemáticas podiam ser desenvolvidas com maior confiabilidade e rapidez pelas máquinas do que pelos homens, conceito que foi comprovado nos anos que se seguiram.

Até a segunda guerra mundial, não ocorreram grandes evoluções na cadeia dos computadores, podendo se destacar a implantação da álgebra binária na programação dos computadores, sistema utilizado até os dias atuais, de maneira eficiente. Entretanto com a proximidade das guerras mundiais e no pós-guerra, observou-se uma maior disputa entre universidades ao redor do mundo, voltadas para a decodificação das mensagens inimigas e a criação de armas mais eficientes, devido aos investimentos militares.

Podem-se destacar neste período os projetos Mark I de 1944, desenvolvido pela Universidade de Harvard (EUA) e o Colossus, de 1946, criado por Allan Turing que tinha como principal função decodificar as mensagens interceptadas dos alemães. Também em 1946 uma inovação importante foi proposta por Von Neumann, que organizou em uma mesma linha os chips dos computadores com os microprocessadores, de uma maneira preliminar (BELL; NEWELL, 1971).

Nesse período foram lançados ainda vários computadores digitais pelas Universidades americanas e europeias. Nos Estados Unidos, foi lançado o ENIAC, o primeiro computador elétrico-mecânico do país, desenvolvido por Eckert e Mauchly. Em 1946, com o apoio das forças armadas da Pensilvânia, foi desenvolvida uma máquina muito rápida até então que possuía como principal inovação a computação digital, ou seja, suas operações não necessitavam de ações manuais na movimentação das peças. Pesquisadores do Reino Unido, após o desenvolvimento do Colossus, desenvolveram computadores similares aos ENIAC e ACE (1945), pelas universidades de Manchester e Cambridge (BRESNAHAN; MALERBA, 1999).

Ainda segundo os autores, a Universidade de Manchester desenvolveu o já citado Mark I, o primeiro computador a usar a memória magnética em 1948 e a

máquina digital (MADM) em 1949, enquanto que a universidade de Cambridge desenvolveu o EDSAC em 1949. Na Alemanha Konrad Zuse foi o mais ativo nesta área desenvolvendo, na década de 30, a série Z-1, Z-2, Z-3, computador capaz de projetar aviões e mísseis, e o Z-4.

De acordo com Gugik (2009), é possível separar a evolução dos computadores em quatro períodos:

- O primeiro, que perdurou durante a segunda guerra mundial e parte da guerra fria, entre 1946 e 1959, onde os computadores tinham como principal característica o fato de possuir válvulas eletrônicas, o que acarretava em alguns problemas para a época como sua dimensão e a quantidade de fios que o conectavam, resultando no super aquecimento das máquinas ocasionando problemas em seu funcionamento.
- O segundo período, entre 1959 e 1964, trouxe como inovação a troca das válvulas eletrônicas pelos transistores, o que diminuiu os tamanhos dos componentes (hardwares), tornando-os menores e mais fáceis de se manusear. Outra inovação desse período foi em relação à redução dos cabos, devido à criação dos circuitos elétricos impressos. Essas inovações foram beneficiadas pela mudança no contexto histórico em que a indústria passava, uma vez que a indústria dos computadores, assim como a indústria em geral, passou por uma fase de mudança no objetivo de sua produção, onde pararam de desenvolver máquinas para fins bélicos e passaram a desenvolvê-las para fins comerciais.
- O terceiro período, que perdurou entre 1964 e 1970, teve como grande mudança no ciclo dos computadores à introdução dos circuitos integrados que facilitavam a comunicação entre os hardwares que faziam parte do computador, aumentando suas funcionalidades e sua velocidade, ao mesmo tempo em que reduziam o tamanho das máquinas, facilitando seu transporte e reduzindo os problemas com o superaquecimento dos mesmos. No fim dessa geração, houve uma mobilização para se começar a pensar em

programas (softwares) de gerenciamento, uma vez que a maioria dos estudos eram voltados ao desenvolvimento das máquinas.

- No quarto período, pode-se identificar uma verdadeira revolução na produção dos computadores com o começo do desenvolvimento dos computadores pessoais.

Os computadores começaram a ficar gradativamente menores, mais rápidos e funcionais, resultando em um acréscimo gradativo de sua produção devido, principalmente, ao desenvolvimento dos softwares que facilitavam sua compreensão e manuseio, aumentando cada vez mais as funcionalidades dos computadores, ou seja, contribuindo com o processo de globalização.

Esse processo, somado a evolução da indústria, contribuiu com a solidificação da economia mundial, assim como a política e a cultura nas sociedades de forma independente, resultando em consequências para as quais a sociedade não estava preparada para enfrentar.

Esta produção acelerada, que foi importante para o desenvolvimento da sociedade, acarretou em algumas consequências, entre elas, a evolução da cadeia dos resíduos eletrônicos que a acompanhou, pois resultou com o agravamento dos problemas ambientais com o passar do tempo.

Analisando a globalização e o desenvolvimento sustentável, pode-se encontrar algumas características que os interligam como o fato da globalização trazer consigo a expansão da produtividade, de forma aleatória e desorganizada, em países menos desenvolvidos, o que resulta em danos sociais e ambientais. Em contrapartida, proporciona a abertura do comércio para a importação de peças com tecnologias mais avançadas oferecendo, em alguns casos, alternativas que degradam menos o meio ambiente (PINTO, 2006).

2.3 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Na maioria dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, com o aumento da população, da prosperidade e urbanização, um dos principais desafios para os municípios é coletar, reciclar, tratar e dispor de quantidades crescentes de resíduos sólidos e de águas residuais (CHERUBINI et al., 2009). Nesse contexto, tem-se a contribuição da indústria dos componentes eletrônicos, que

vem apresentando uma crescente produção, sendo importante a implantação da ferramenta da ACV no seu ciclo, buscando diminuir a extração de recursos naturais, substituindo-os por matérias primas recicladas.

A ACV surgiu da necessidade e da busca em se estabelecer uma metodologia que relacione todas as atividades da empresa, incluindo seus produtos e processos, visando facilitar a análise de seus impactos ambientais. É fato que, por muitos anos, o controle ambiental na indústria estava focado nas emissões e nos resíduos oriundos do sistema produtivo, após a sua produção não buscando evitar suas emissões diretamente (LÖFGREN et al., 2011).

A metodologia da ACV consiste em um método padronizado internacionalmente por meio da família ISO 14000, considerada uma das ferramentas de gestão mais eficazes para identificar e avaliar os impactos ambientais relacionados com as opções de gestão de resíduos e o processo produtivo das corporações (CHERUBINI et al., 2008).

A utilização da metodologia da ACV como uma ferramenta é importante para a tomada de decisão quanto a escolha de sistemas de gestão de resíduos, ou das estratégias relativas à prioridade na utilização dos recursos naturais, ou ainda para se reduzir os impactos oriundos da cadeia de produção dos produtos eletrônicos. A ACV é capaz de fornecer uma visão geral dos aspectos ambientais de diferentes estratégias de gestão de resíduos, e torna possível comparar seus potenciais impactos ambientais (CHERUBINI et al., 2009).

A ACV começou a ser estudada no começo da década de 1970 com foco para o fim de vida dos produtos, sugerindo que as soluções para esta problemática deveriam levar em consideração os valores dos resíduos e as possíveis alterações nos processos para minimizar a geração e suas emissões. Após isso, o interesse pela ACV cresceu rapidamente na década de 1990, época em que seus resultados geravam grandes expectativas (FINNVEDEN et al., 2009).

As definições da ACV sofreram algumas alterações com o tempo, podendo classificá-la, de modo simplificado, como uma ferramenta que consiste na quantificação e avaliação das entradas, saídas e dos potenciais impactantes ambientais de um sistema produtivo durante todo o seu processo. Portanto, a ACV de um produto, ou serviço, abrange desde a extração dos recursos

naturais para sua produção até o descarte final, podendo-se dizer do “berço ao túmulo”, ou ainda do “berço ao berço” na vida de um produto ou serviço.

O conceito de ciclo de vida tem-se estendido além de um simples método usado para comparar produtos, sendo visto como uma parte para conseguir objetivos mais abrangentes voltados ao tema sustentabilidade, uma vez que esta vertente ambiental vem ganhando destaque ao longo dos anos (CURRAN, 1999).

A Norma de Princípios Gerais e Procedimentos ISO 14040 (1997) define a ACV como uma técnica para a avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto, compreendendo etapas que vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema de produção, passando pela avaliação durante todo o processo produtivo até a disposição do produto final, após ser consumido.

Segundo ILCD (2010), um estudo de ACV é um processo iterativo, ou repetitivo, uma vez que após a definição do objetivo do trabalho, da metodologia e dos requisitos posteriores para o sucesso do trabalho, é necessário ter em mente que devido às incertezas nos fluxos dos produtos durante a sua execução, coleta de dados, a avaliação dos impactos e posteriores interpretações, mais informações podem, ou não, estar disponíveis, alterando as configurações iniciais do escopo, sendo necessário refiná-lo novamente e, às vezes, também revê-los, conforme mostrado na Figura 6.

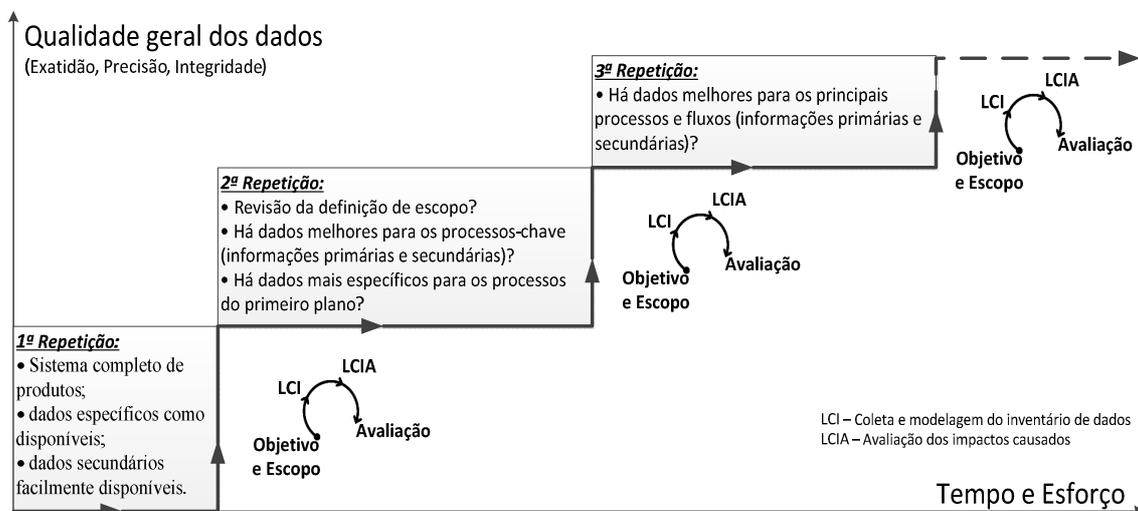


Figura 6: Esquema da natureza iterativa da ACV (adaptado ILCD, 2010).

Conforme a Figura 6, a ACV é realizada em ciclos iterativos alterando a definição de seu objetivo e/ou escopo, a coleta do inventário dos dados (LCI), a avaliação do impacto (LCIA) com as verificações de integridade, sensibilidade e consistência (Avaliação) como um instrumento de orientação.

Este processo é realizado pensando em atingir os objetivos e com o intuito de se fazer análises a respeito da integridade dos resultados coletados, buscando entender seu alcance até que a precisão dos modelos e processos propostos em relação aos resultados do inventário sejam atingidos.

A fim de alcançar a precisão requerida, recomenda-se selecionar as fontes de dados externas de uma forma iterativa, visando maior êxito na aquisição desses dados. Cabe destacar que esta metodologia também se encaixa em novas tecnologias que não possuem experiências anteriores, sendo que a primeira repetição pode usar dados genéricos ou uma média para facilitar o seu planejamento, pois assim o principal esforço na coleta de dados passa a ser orientado para as partes relevantes do estudo (ILCD, 2010).

Dentro deste contexto, a ISO 14040 (1997) apresenta uma estrutura em que uma ACV deve ser estabelecida (Figura 7).

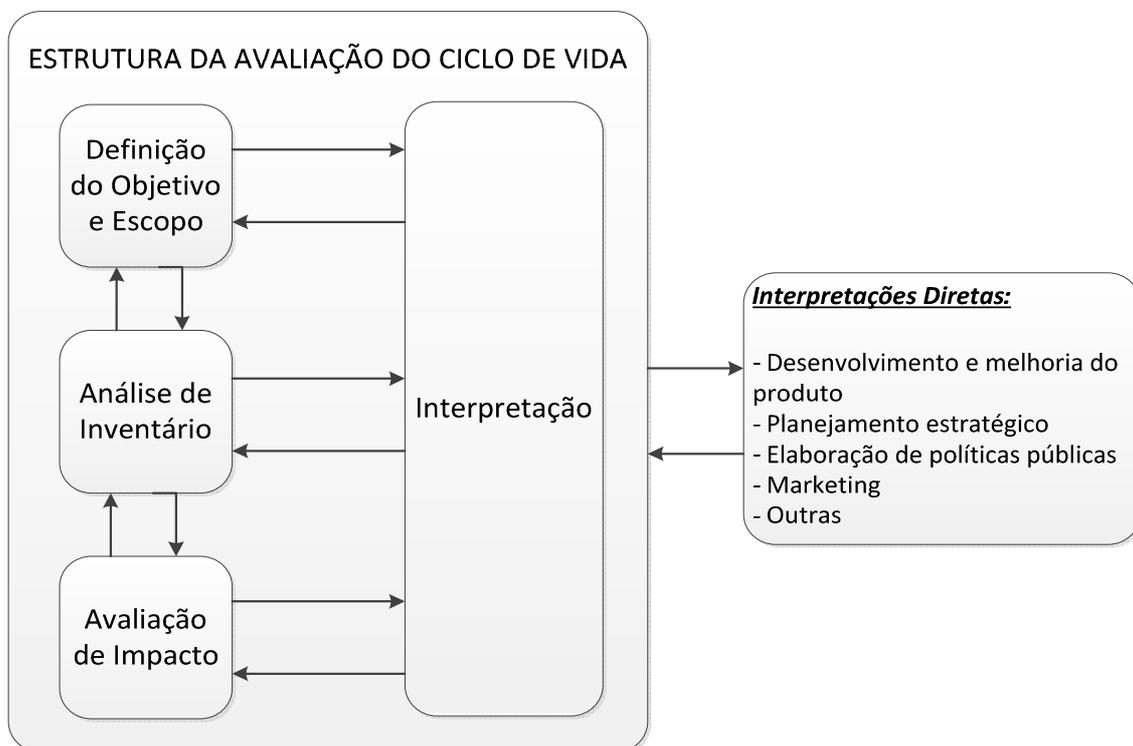


Figura 7: Fases de uma ACV (ISO 14040, 1997).

As principais etapas da ACV, segundo as normas (NBR ISO 14040, 1997; NBR ISO 14041, 2006) e ILCD (2012) são descritas resumidamente a seguir:

- Definição do Objetivo e Escopo: devem ser consistentes com a aplicação pretendida e definidos, identificando o contexto das decisões, assim como os resultados pretendidos. O escopo inclui ainda uma distribuição dos itens a serem seguidos de acordo com a linha central do estudo, as funções do sistema, os aspectos e impactos ambientais a serem investigados, as possíveis limitações, entre outras características;
- Análise de Inventário: envolve a coleta e o processamento dos dados, visando quantificar as entradas e saídas do sistema de produção, podendo incluir os aspectos ambientais que sejam alterados pelo sistema. Cabe destacar que o inventário é iterativo, onde as suas alterações podem levar para uma reflexão do objetivo e/ou escopo do trabalho constantemente, devido as incertezas na coleta de seus dados. A primeira validação dos dados são realizadas nesta fase.
- Avaliação do Impacto: esta fase é dirigida para a significância dos impactos ambientais potenciais, usando como resultados os inventários. Ou seja, esta etapa envolve a interpretação dos resultados relacionados a seus impactos, visando compreender a magnitude e as características desses impactos ao meio ambiente.
- Interpretação do ciclo de vida: é a fase na qual as constatações das fases anteriores são combinadas, relacionando-as com o objetivo e o escopo do estudo, começando com as questões mais significativas encontradas. A interpretação envolve a integridade, sensibilidade e consistência, de acordo com as incertezas e a precisão dos resultados.

Após o entendimento desses passos, percebe-se que a ACV é um processo iterativo, no qual repetições são necessárias para se obter resultados mais consistentes a partir desses estudos, tal que a norma ISO 14000 busca direcionar estes estudos, a fim de se padronizar as pesquisas em prol do meio ambiente por meio da ferramenta da ACV.

Alguns estudos levantaram a importância da ACV e mostraram na prática que além de ganhos ambientais, o mesmo pode trazer ganhos econômicos para uma empresa. Estudos realizados por Silva et al. (2010), sobre a ACV em relação a produção de refrigeradores no Brasil, mostraram que somente com a reciclagem do aço é possível diminuir custos na utilização de óleo e água, quando comparado com a matéria prima recém extraída. Em uma empresa do setor eletroeletrônico cerca de 60% do aço reciclado é reaproveitado na produção de novos refrigeradores.

Ainda segundo o autor, este fato tem como consequência a adoção de novos procedimentos por parte da empresa, sendo que seus eletrodomésticos passaram, com o tempo, a serem desenhados com o intuito de facilitar a separação e reciclagem dos seus materiais constituintes, formando a chamada eco-inovação, que consiste em alterar o perfil dos produtos visando facilitar os processos de desmontagem, reciclagem, ou ainda a separação dos componentes.

Outro exemplo aponta que uma empresa do setor de eletroeletrônico atingiu uma marca de enorme importância, destacando que cerca de 90% dos materiais utilizados na produção de refrigeradores podem ser reciclados, o que traz benefícios significativos para produção em larga escala.

Segundo Jasper (2009), outro ponto importante na reciclagem de refrigeradores vem da evolução técnica do processo de reciclagem dos mesmos, utilizando a ferramenta da ACV, no qual já conseguiram elevar de 60% para 99,5% as prevenções das emissões de gases de CFC (Cloro-Flúor-Carbono) por unidade reciclada.

Lazarevic et al. (2010) em seu estudo sobre a produção de plásticos, afirmam que a ACV se torna imprescindível, uma vez que a disposição final deste material apresenta diferentes aspectos, explanando que é difícil chegar a um mecanismo perfeito para sua reciclagem devido a diversidade na sua composição como produto acabado. Como exemplo, pode-se citar a incineração deste material, na qual uma mudança no sistema de eliminação do lixo plástico, ou no tipo de plástico, pode ser vantajosa em termos de ganhos energéticos, mas não em termos de impactos toxicológicos, tanto para a saúde humana quanto em relação aos aspectos ambientais.

Os autores afirmam ainda que é necessário se conhecer a origem dos materiais a serem reciclados e o possível nível de contaminação dos mesmos para se atingir o máximo dos benefícios ambientais e econômicos da reciclagem. Tais conclusões estão diretamente ligadas com a aplicação da ACV dos produtos que podem auxiliar nesse processo.

Estudos realizados por Vidal et al. (2008), indicaram que em alguns casos os materiais plásticos reciclados podem até serem considerados “menos ecológicos” do que os plásticos convencionais, sendo necessário conhecer a procedência dos materiais a serem reciclados e seu grau de mistura com outros materiais. Em seus estudos, os principais resultados apresentados mostraram que os compósitos reciclados combinados com matérias-primas de biomassa, portanto, de fontes renováveis, como a casca de arroz e o algodão, exibiram um impacto significativamente reduzido quando comparados com termoplásticos virgens convencionais.

Abordando a importância da ACV, Scharnhorst et al. (2006) analisou diferentes tecnologias a respeito da diferença na eficiência energética de telefones celulares, destacando que há um importante benefício ambiental quando se fabricam os celulares utilizando as chamadas matérias primas secundárias, ou seja, utilizando materiais reciclados, que podem ajudar a diminuir significativamente os impactos da fase de produção desses aparelhos, principalmente a respeito do esgotamento desses recursos naturais.

Segundo os autores, pode-se também aliar esse benefício ambiental ao aspecto econômico, uma vez que o reaproveitamento dos metais considerados raros e preciosos, como ouro e prata, obtêm um menor custo na produção, tornando uma alternativa ecológica e econômica ao mesmo tempo.

A partir desses exemplos torna-se importante o uso da ACV no processo de produção, de uma maneira geral, em especial no ramo dos produtos eletrônicos, uma vez que a sua produção tem crescido exponencialmente nos últimos anos devido a alguns fatores como a necessidade de inovação tecnológica e o elevado conhecimento técnico, que alavancam o crescimento e acirram a disputa entre as empresas por uma predominância neste mercado.

Como consequência dessa necessidade com a evolução tecnológica, têm-se essa busca pelo crescimento organizacional/industrial, o que acarreta na atualização dos produtos constantemente, tornando-os obsoletos em pouco tempo.

Iakovou et al. (2009) levantam esta questão afirmando que se faz necessário o desenvolvimento de metodologias e estudos para a identificação dos componentes mais atrativos de um produto eletrônico em sua fase “final de uso” para uma melhor recuperação e reciclagem do mesmo, levando-se em conta a programação da produção.

Portanto, diante destes cenários, torna-se imprescindível e indispensável à implementação da ACV dos produtos industrializados. No caso da presente proposta de estudo, destaca-se a realização de estudos sobre o ciclo de vida dos “lixos eletrônicos” oriundos da produção e utilização dos microcomputadores, no sentido de introduzir novamente seus componentes no sistema de produção, contribuindo, como consequência, com a redução na extração de matéria-prima e, ao mesmo tempo, com a redução do descarte final desses produtos no meio ambiente.

2.4 Ciclo de Desenvolvimento do Produto

A evolução no desenvolvimento do sistema capitalista acabou acelerando o ciclo produtivo com incentivos e a busca constante de produtos, com formas (designs) melhor elaboradas, no sentido de satisfizer as necessidades de consumo e superar as expectativas dos consumidores.

Assim, devido aos avanços tecnológicos, os ciclos de vida dos produtos passaram a se reduzir. Por exemplo, observa-se que a evolução do processo de manufatura dos produtos eletrônicos resulta na redução do seu ciclo de vida com o passar do tempo, e as previsões são de que continuem reduzindo. Como consequência ocorre o aumento no número de produtos descartados pela sociedade com o passar dos anos.

Com isso, e devido às crescentes preocupações em relação ao meio ambiente, os governos passaram a buscar alternativas para amenizar os danos causados pelos processos de produção em alguns países, com o intuito de reduzir a

quantidade do fluxo dos resíduos sólidos, como a já mencionada PNRS, no Brasil e a família da ISO 14000.

Para isso, os produtos precisam ser direcionados de volta ao processo de produção, ao invés do seu descarte direto em aterros sanitários ou no ambiente natural. Entretanto, para uma eficiência deste processo, torna-se necessário o desenvolvimento de uma infraestrutura eficaz de Logística Reversa, assim como, um estudo para a montagem de um sistema eficiente de Manufatura Reversa para estruturar as atividades de recuperação dos produtos visando sua eficiência e eficácia (ASSAVAPOKEE; WONGTHATSANEKORN, 2012).

Portanto, se faz necessário pensar na Manufatura Reversa dos produtos eletrônicos, que consiste em um processo industrial com o objetivo de converter os produtos usados em matérias primas ou produtos seminovos, passíveis de serem reintroduzidos no mercado (AKSOY; GUPTA, 2005).

O processo de recuperação de um produto envolve uma reestruturação de toda a cadeia produtiva, uma vez que o sistema de produção, na maioria das atividades, não está apto para receber produtos obsoletos e transformá-los novamente em matérias primas. Quando se estuda o sistema de produção inverso, se esbarra nos anos de desenvolvimento do sistema atual, uma vez que o fluxo de retorno de produtos em fim de vida tem um elevado grau de incerteza em relação à quantidade, qualidade e o tempo de retorno desses produtos. Tal fato dificulta o planejamento do sistema de produção visando a obtenção de lucro com esta variação na produção entre o sistema tradicional e o de manufatura reversa, ou pelo menos a redução dos custos para não afetar a saúde corporativa (JAYARAMAN et al., 1999).

Entretanto, a evolução da consciência ambiental, por parte dos “*stakeholders*”, fez com que o processo de globalização, aliada com as consequências dos impactos ambientais, resultasse em um desafio para as empresas, de buscar meios de se produzir e gerenciar de uma maneira mais sustentável.

Dentro desse conceito surgiu a Produção mais Limpa (P+L) que busca meios de adequar a cadeia produtiva, assim como a gestão empresarial, ao desenvolvimento sustentável. Este conceito começou a ser desenvolvido nas décadas de 70 e 80, uma época em que o sistema de produção utilizava, em

sua maioria, o método chamado de “fim de tubo”, ou seja, só se pensava nos resíduos após sua geração (MEDEIROS et al., 2007). A Tabela 4 apresenta as principais diferenças entre a técnica de “fim de tubo” e a P+L.

Tabela 4: Diferenças entre a técnica de “fim de tubo” e a P+L (adaptado de CNTL, 2003).

<i>Técnica de “Fim de Tubo”</i>	<i>Produção mais Limpa</i>
Possui ações a partir da reação;	Possui ações prévias a ação;
Os resíduos, os efluentes e as emissões são controlados através de equipamentos de tratamento.	Prevenção da geração de resíduos, efluentes e emissões na fonte. Procura evitar matérias-primas potencialmente tóxicas.
Proteção ambiental é um assunto para especialistas competentes.	Proteção ambiental é uma tarefa para todos os envolvidos (“stakeholders”).
A proteção ambiental atua depois do desenvolvimento dos processos e produtos.	A proteção ambiental atua como uma parte integrante do design do produto e da engenharia de processo.
Os problemas ambientais são resolvidos a partir de um ponto de vista tecnológico.	Os problemas ambientais são resolvidos em todos os níveis e em todos os campos.
Não tem a preocupação com o uso eficiente de matérias primas, água e energia.	Uso eficiente de matérias primas, água e energia.
Leva a custos adicionais.	Ajuda a reduzir custos.

As diferenças apresentadas entre a técnica de “fim de tubo” e a P+L, deixa evidente a mudança em relação aos aspectos ambientais e os impactos ambientais oriundos do sistema de produção de determinado produto com o passar dos anos, uma vez que a consciência ambiental vem agregando valores antes não pensados aos produtos, o que não necessariamente resulta em aumento dos gastos para as empresas, uma vez que essas atitudes visam diminuir ou eliminar possíveis problemas com os custos para a remediação dos impactos ambientais.

A P+L é a aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental nos produtos e processos visando à otimização no uso de matérias primas, assim como os recursos naturais, aumentando a produtividade, reduzindo fontes de

desperdício ou a emissão de poluentes. Busca ainda considerar a variável ambiental em todas as fases da empresa (UNIDO, 2002).

Segundo Fernandes et al. (2001) a P+L pode assim ser definida:

“aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não-geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados em um processo produtivo. Produção Mais Limpa também pode ser chamada de Prevenção da Poluição, já que as técnicas utilizadas são basicamente as mesmas”.

De acordo com este conceito, a P+L pressupõe quatro atitudes básicas: a primeira, e a mais importante, é a busca pela não geração de resíduos, através da racionalização das técnicas de produção; a segunda, quando a primeira não é possível, é a minimização na geração dos resíduos; a terceira é o reaproveitamento dos resíduos no próprio processo de produção; e a quarta é a reciclagem com o aproveitamento dos resíduos gerados ou os produtos obsoletos (FERNANDES et al., 2001).

Unindo a P+L e a ferramenta da ACV no desenvolvimento de determinado produto, tem-se que a P+L busca alterar o design dos produtos buscando uma redução nos possíveis impactos oriundos de seu processo, identificados pela ACV, direcionando o processo de produção para a economia de matéria prima e recursos, a eliminação na utilização de materiais tóxicos e a redução dos resíduos e efluentes gerados no processo. Em relação aos serviços, direciona seu foco para incorporar as questões ambientais na estrutura e entrega de serviços, além de buscar incorporar o “*know-how*” (consiste em melhorias técnicas de gestão, revisão de política e procedimentos quando necessário) adquiridos de outras empresas, mudando os hábitos entre a empresa, colaboradores e o meio ambiente. Assim sendo, a estratégia geral para alcançar os objetivos na P+L foca na mudança constante das condições na fonte ao invés de lutar contra os sintomas (CEBDS, 2009; WERNER, 2009).

Para facilitar a compreensão da P+L, é importante conhecer, de uma maneira genérica, o ciclo de desenvolvimento de um produto. A Figura 8 apresenta o desenvolvimento de um produto, desde sua análise de mercado, buscando a sua demanda, até a sua disposição final, ou reaproveitamento.

O modelo apresentado consiste em: (i) o processo primário para a engenharia de desenvolvimento de um produto, que vai desde as atividades de pesquisa de engenharia de produção; (ii) o processo principal visando o abastecimento, produção, fabricação e a utilização do produto (ou implantação, serviço); e (iii) feedback do processo de produção, apontando simplificada, os meios de destinação (DEKKERS et al., 2013).

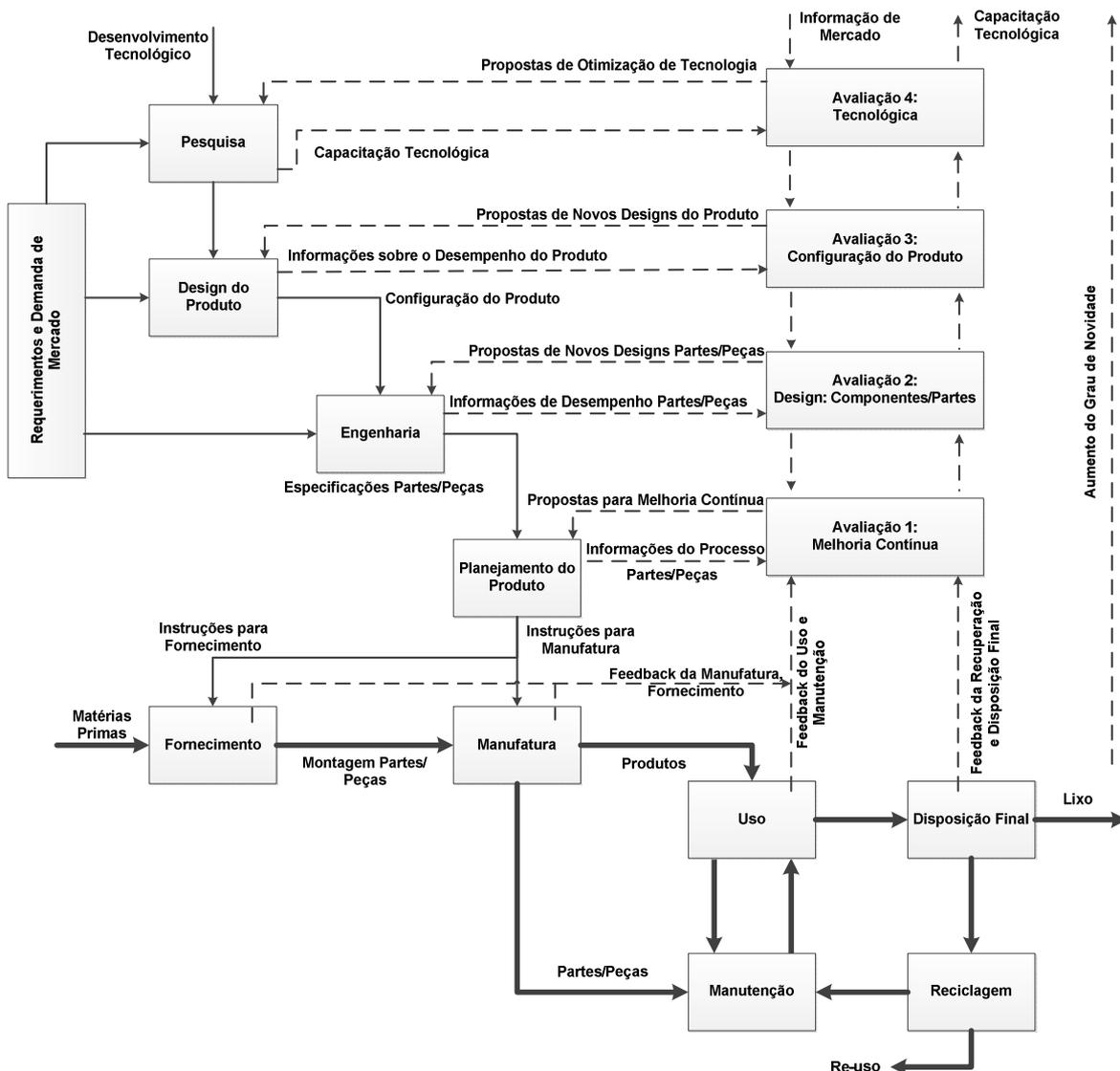


Figura 8: Modelo genérico para a manufatura de um produto (adaptado DEKKERS, et al., 2013; HINCKELDEYN et al., 2010).

O modelo apresentado remete aos aspectos que envolvem o desenvolvimento de um produto, partindo da demanda de mercado que vem sendo alterada com a conscientização da população em relação ao meio ambiente, passando pelo planejamento do produto, que precisa se atentar para as ferramentas em busca do desenvolvimento sustentável antes da sua manufatura.

A partir de então, vem à aquisição de material e manufatura do produto, que passou a ter alguns indicadores para controle de sua poluição. Apresentando, por fim, a fase de uso do produto, que remete às corporações as responsabilidades do descarte final de seus produtos, devido as novas legislações ambientais. Conjuntamente com todo esse processo, tem-se a avaliação constante de todas essas etapas, buscando melhores maneiras de se produzir reduzindo os impactos ambientais e otimizando a utilização dos recursos para agregar ganhos econômicos para a corporação.

Pode-se observar ainda, que o ciclo de desenvolvimento do produto apresentado aborda os aspectos ambientais de uma maneira simplificada, em relação as suas fases de manufatura, reaproveitamento e disposição final.

Portanto, a Figura 9 apresenta, de uma maneira simplificada, algumas fases de planejamento do “Supply Chain” (“Cadeia de Suprimentos”), durante essas etapas, tanto na visão do processo quanto na visão do produto.

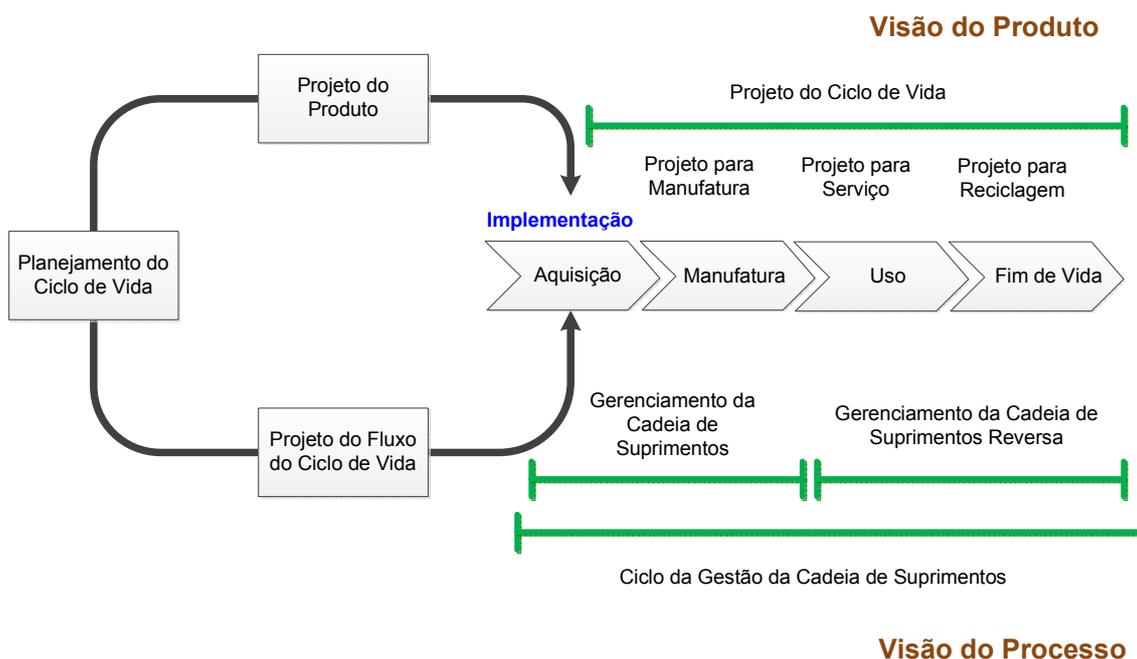


Figura 9: Visão geral do desenvolvimento do ciclo de vida (adaptado UMEDA et al., 2012).

A partir do conhecimento do Ciclo de Desenvolvimento de um Produto, levando em consideração os aspectos e impactos ambientais, é importante elucidar a adaptação necessária para o desenvolvimento do processo de Manufatura Reversa, onde se faz necessário um novo planejamento visando conciliar e

variar os ciclos produtivos de acordo com a demanda dos produtos reciclados que tende a variar com o tempo.

Portanto, esse ciclo precisa ser elaborado para não trazer prejuízos para as empresas, uma vez que a reciclagem de produtos visa trazer lucro para a corporação com o passar do tempo e a manutenção de um processo produtivo eficiente dos materiais reciclados.

De acordo com Dat et al. (2012), um modelo completo para a eficiência no processo da Manufatura Reversa precisa englobar desde o ponto de coleta deste material, sendo importante facilitar para o consumidor depositar de forma adequada os produtos após o consumo, uma vez que processos que resultem em grandes esforços por parte dos mesmos não são aderidos pela população de uma maneira geral.

A Figura 10 mostra um exemplo de fluxograma da estrutura física da Manufatura Reversa dentro de uma corporação, partindo desde a coleta dos produtos eletrônicos após o fim de sua vida útil.

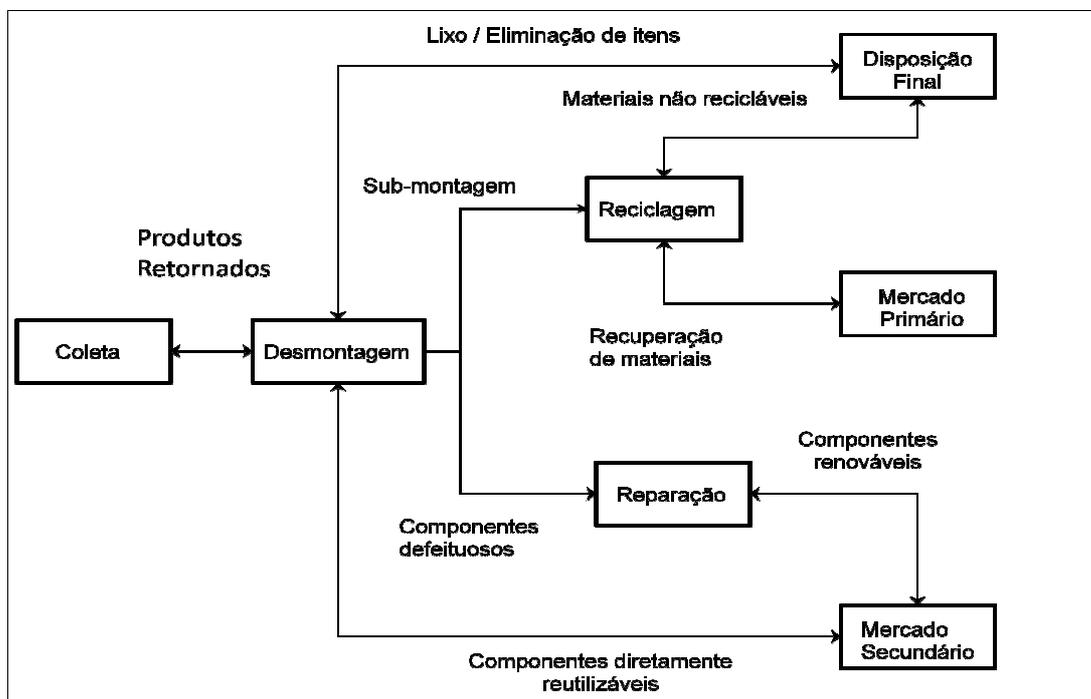


Figura 10: Fluxo dos produtos retornados em um sistema de Manufatura Reversa (adaptado DAT et al., 2012).

O processo apresentado na Figura 10 é dependente do sucesso da etapa de coleta desses materiais, que na maioria dos casos, não está relacionado

apenas com iniciativas por parte das empresas e sim com a cultura das pessoas que, direta ou indiretamente, tem contato com este produto, pois as ações visando a correta destinação dos produtos obsoletos tem que partir dos consumidores, tendo como contrapartida das empresas a estruturação da cadeia de Logística Reversa para a sua coleta.

Na Manufatura Reversa há um processo de desmontagem e inutilização dos componentes eletrônicos causando, como resultado, o fato desses produtos geralmente apresentarem durabilidade menor quando relacionados com produtos novos.

Outro aspecto negativo consiste na alta variabilidade das operações, em alguns casos, o que dificulta as operações e técnicas de gestão. É importante um entendimento do gerenciamento dessas operações que incluem a previsão da produção, o planejamento da capacidade produtiva, a programação dessa produção, a gestão do inventário e as análises em relação à incerteza do fluxo produtivo (ILGIN; GUPTA, 2010).

Para planejar um processo de Manufatura Reversa é necessário também, se atentar para algumas etapas antes de investir na montagem desta infraestrutura. O primeiro passo deste processo é a previsão do processo de produção, uma vez que uma estimativa precisa do retorno dos produtos é um importante insumo na análise desses sistemas de Manufatura Reversa, pois a dificuldade consiste na incerteza na relação tempo X quantidade dos materiais a serem retornados para o processo de produção (MARX-GOMEZ et al., 2002).

Ainda segundo os autores, este fato dificulta e inviabiliza a implantação de alguns métodos produtivos tradicionais utilizados nesta área. Outro aspecto que complica este processo é a instabilidade do tempo de operação no reaproveitamento dos produtos eletrônicos (MARX-GOMEZ et al., 2002).

Após um aprofundamento em relação à previsão do processo de produção é necessário estruturar e planejar o sistema de produção a ser montado, levando em consideração as características dos produtos a serem reprocessados, assim como as características da produção, o que se assemelha na montagem de um sistema de fluxo para frente.

Kim et al. (2006) destacam a importância de descobrir as etapas do processo, procurando entender quando e como desmontar os materiais, buscando com os fornecedores externos o que realmente é necessário para se obter uma redução máxima no custo do processo de Manufatura Reversa.

Outras características importantes que devem ser levadas em conta na desmontagem e recuperação dos microcomputadores é a certificação de que os componentes foram realmente inutilizados, antes de se iniciar o processo de reaproveitamento dos mesmos devido as exigências legais e os aspectos ambientais relacionados a este processo.

Inderfurth; van der Laan (2001) apontam outra característica importante quando se estuda a Manufatura Reversa dos produtos eletrônicos que está relacionada a incerteza na aquisição dos materiais devido a diversidade da gama de produtos que podem vir a serem desmontados e reaproveitados, apontando para uma necessidade na mudança do layout do sistema de produção quando o objetivo da corporação for incluir a Manufatura Reversa no processo de manufatura dos produtos.

Tal que é importante também se estudar formas de substituir a manufatura pela remanufatura em certos ciclos produtivos, transformando o processo mais dinâmico do que padronizado, caso isso seja possível dentro da infraestrutura da organização.

De acordo com Assapavokee (2012), a condição e a qualidade dos resíduos eletrônicos podem variar significativamente de um produto para o outro, sendo importante classificá-los em diferentes condições quando chegam à fábrica. Isto se mostra mais importante para as empresas que procuram realizar o reaproveitamento dos produtos eletrônicos no próprio sistema de produção e não apenas a desmontagem, buscando identificar os produtos eletrônicos nas condições de: restauráveis, passíveis de serem reaproveitados ou os equipamentos em fase final de uso.

Devido às dificuldades apresentadas em relação a estrutura necessária para a descaracterização e reaproveitamento dos produtos eletrônicos, assim como a conscientização dos “*stakeholders*”, as empresas começaram a desenvolver produtos cada vez mais fáceis de serem reciclados.

Tais produtos utilizam componentes recicláveis evitando a utilização de contaminantes danosos ao meio ambiente, retirando da linha de produção e do processo evolutivo dos computadores, componentes que não podem ser reciclados, como o chumbo por exemplo.

Ilgin (2010) aborda esta temática classificando essas mudanças em três metodologias diferentes: Mudança no *design* específico do produto, facilitando sua desmontagem e descaracterização, assim como o transporte dos mesmos; a avaliação do ciclo de vida dos produtos; e a escolha das matérias primas que virão a entrar no processo de produção.

Huang (1996), também adotou esta divisão em seus estudos, classificando a metodologia em três etapas, que apresentam características parecidas com as apresentadas por Ilgin: inovações no design voltadas para as características ambientais dos produtos; inovações visando facilitar a desmontagem dos mesmos; e inovações voltadas para aumentar a porcentagem de materiais passíveis de reciclagem.

Bevilacqua et al. (2007), definem a Manufatura Reversa de produtos como uma estratégia que visa minimizar o impacto ambiental potencial, com o intuito de se efetuar mudanças no processo de produção que sempre levem em consideração as questões ambientais e as necessidades dos clientes. Para atingir tais objetivos, tem-se como uma das ferramentas mais comentadas, seguindo esta metodologia, a ACV que busca inovações que tornem o ciclo produtivo menos danoso para o meio ambiente (VEERAKAMOLMAL; GUPTA, 2000; GROTE et al., 2007).

Sintetizando, o processo de Manufatura Reversa leva em consideração o grau de dificuldade na desmontagem dos produtos após o seu uso, uma vez que esta etapa visa reduzir o tempo de descaracterização e inutilização no pós-vida dos produtos eletrônicos, buscando um design ideal para o produto em termos de praticidade (VEERAKAMOLMAL; GUPTA, 2000). A mudança no design visando à reciclagem, que está relacionada às características que suportem o custo do processo de reciclagem e desagregação dos diversos materiais que venham a compor o produto (MASANET; HORVATH, 2007) que usa como parâmetro o peso dos produtos após a reciclagem.

E, por fim, a etapa de escolha dos materiais que venham a degradar menos o meio ambiente. Essa escolha é feita a partir das características físico-químicas dos materiais, relacionadas com o custo da produção, assim como com o processo necessário para ser produzido, sua funcionalidade e o tempo de produção. Assim sendo, segundo Ilgin (2010), a preocupação com os aspectos ambientais vem incluindo o meio ambiente nos estudos dos materiais que serão utilizados nos processos de produção, o que resultou na alteração desses processos a cada iteração das ACV's aplicadas, uma vez que são necessárias alterações na infraestrutura das empresas para a utilização de materiais menos danosos ao meio ambiente, a cada avaliação da ACV.

2.5 Logística Reversa

O processo de Manufatura Reversa poderá ser eficaz a partir da entrada dos materiais obsoletos, sendo necessário o desenvolvimento de uma estrutura para a coleta desses materiais que venha a dar suporte para este processo a partir dos consumidores finais, uma vez que, no Brasil, por exemplo, a destinação adequada dos equipamentos eletrônicos não é de fácil acesso.

Tal fato desenvolveu a chamada Logística Reversa (LR), um sistema criado para facilitar o retorno dos materiais obsoletos que visa, com sua aplicação, trazer ganhos, tanto em termos econômicos quanto em termos ambientais. De acordo com Sarkis; Talluri (2004) um fluxo eficiente da LR em uma empresa pode resultar em vantagens que vão desde a redução da extração de matérias primas, passando por uma redução nos gastos com a coleta dos produtos até a satisfação do cliente, uma vez que práticas que retiram a responsabilidade da destinação adequada dos materiais dos clientes contribuem significativamente para sua satisfação.

Deste modo, é importante conhecer o conceito da LR, uma vez que o mesmo evoluiu com o passar dos anos, passando por vários estágios até ser consolidado (FERNÁNDEZ, 2005). De maneira abrangente, Stock (1992) definiu a LR como a gestão das atividades de distribuição envolvidas na devolução dos produtos, visando reduzir os impactos ambientais com a redução da extração das matérias primas diretas nos recursos naturais. Sendo considerada parte integrante da gestão da cadeia de suprimentos, também chamada de gestão das devoluções (LEE; DONG, 2008).

Rogers; Tibben-Lembke (1999) definem a LR como um processo de planejamento e controle do fluxo dos produtos acabados do ponto de consumo para o ponto de origem visando recapturar o valor agregado existente no produto após o seu ciclo de vida.

Dowlatshahi (2000) aborda esta temática definindo a LR como uma cadeia de abastecimento que virá a ser redesenhada para gerenciar com eficiência o fluxo de produtos ou partes deles destinados à remanufatura, reciclagem ou eliminação, além de utilizar eficazmente os recursos naturais necessários para o sistema de produção, ou seja, do cliente até a empresa que lhe vendeu o produto.

Rogers; Tibben-Lembke (2001) definiram a LR como um processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e rentável de matérias-primas, estoque em processo, produtos acabados e informações relacionadas do ponto de consumo ao ponto de origem, com a finalidade de recapturar o valor agregado ao produto ou realizar seu descarte adequado.

Complementando, para Lambert et al. (2005) e Stavroulaki; Davis (2010) a LR compreende o fluxo de produtos, ou suas partes, do seu local de consumo para o seu local de origem, com o objetivo de recuperar algum do seu valor inicial, ou para encontrar o processo mais apropriado para a reutilização destes materiais, abrangendo os produtos perigosos, poluentes e ou produtos que passam por um elevado número de retornos.

Hirsch et al. (1998) apresentam a LR no ciclo de desenvolvimento de um produto, de maneira simplificada, mostrando sua importância, quando se torna economicamente viável, para a empresa, uma vez que sua eficiência reduz impactos ambientais ao mesmo tempo em que recupera recursos para a corporação, conforme mostra a Figura 11.

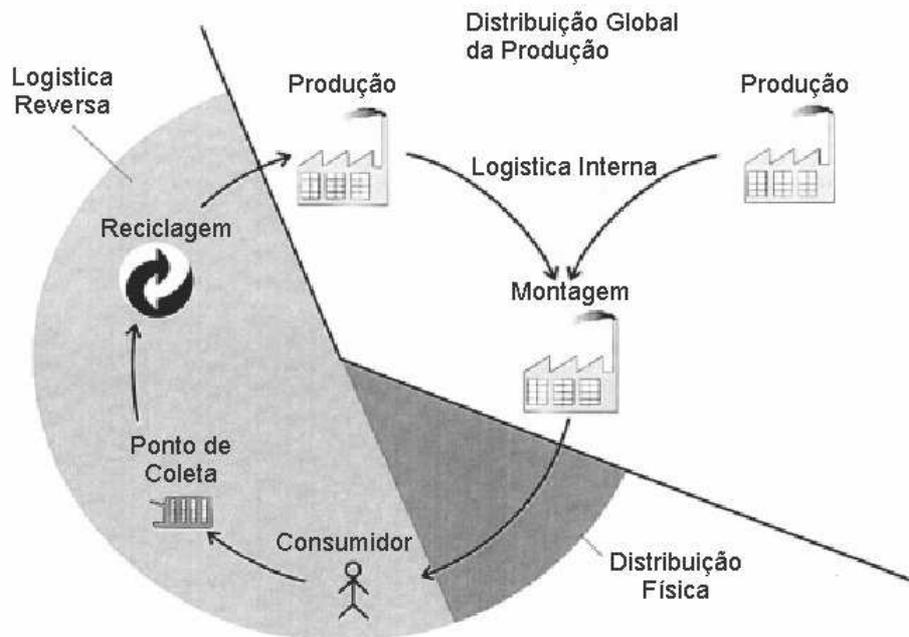


Figura 11: Ciclo de vida de um produto, de uma maneira simplificada, englobando a Logística Reversa como parte do processo (HIRSCH et al., 1998).

Entretanto, a questão a ser analisada e discutida é o planejamento da infraestrutura necessária que deve ser estabelecida a fim de assegurar uma política de retorno ideal, pois as etapas da LR podem ser facilmente levantadas.

No contexto da LR, o fator tempo, além de algumas outras questões críticas, normalmente não é de muito interesse das corporações, pois as mesmas têm como objetivo, em termos do ciclo de vida, a busca por um retorno dos produtos com o menor custo possível, deixando os aspectos e impactos ambientais em segundo plano. Assim sendo, o planejamento da LR tem de considerar algumas restrições especiais que além de econômicas, também são culturais e inerentes a cada ambiente social (HIRSCH et al., 1998).

A LR é um processo que visa recuperar o valor agregado ao produto após seu ciclo de vida, através de uma estruturação da cadeia de retorno do consumidor final para os produtores, de forma organizada e planejada, visando facilitar aos consumidores finais o retorno desses materiais. O sucesso da coleta desses materiais em FDV depende de dois fatores principais: o sistema de coleta dos produtos obsoletos ou danificados; e a consciência cultural da população em dar a destinação adequada a esses produtos. Além dessa estruturação, se faz necessário um trabalho visando à conscientização da população, tanto na

questão da devolução dos produtos, como na preferência por comprar produtos que utilizam materiais reciclados.

Com o tempo, a LR tem recebido considerável atenção por parte das empresas e dos pesquisadores devido ao potencial de recuperação dos valores presentes nos produtos em FDV, além das mudanças nas legislações e diretrizes, assim como na consciência do consumidor e a responsabilidade social (CASTEL et al., 2005).

A quantidade de trabalhos a respeito da LR vem crescendo desde os anos 60, sendo que as pesquisas sobre estratégias e modelos já podem ser vistas nas publicações dos anos 80, apesar destas pesquisas ainda se limitarem a apenas alguns aspectos da LR, como a coleta e os impactos ambientais (POKHAREL; MUTHA, 2009).

Hribernik et al. (2011) abordam o tema da LR apresentando na Figura 12 um esquema de fácil compreensão a respeito da sua posição no ciclo de vida de um produto. Abordando o processo para frente, ou seja, o processo de manufatura de um produto, tem-se o Início de Vida (IDV) dos produtos que vai desde o estudo de mercado até a distribuição do produto, o Meio de Vida (MDV) que consiste na sua vida útil, incluindo os reparos que vierem a ser feitos e o FDV que busca retorná-los para o seu IDV, englobando os possíveis destinos para os produtos obsoletos, ou danificados, com o objetivo de retorná-los para o processo de produção, fechando um ciclo que busca envolver as parcerias definidas por Elkington no TBL, uma vez que este ciclo não é simples quando se pensa em uma única empresa.

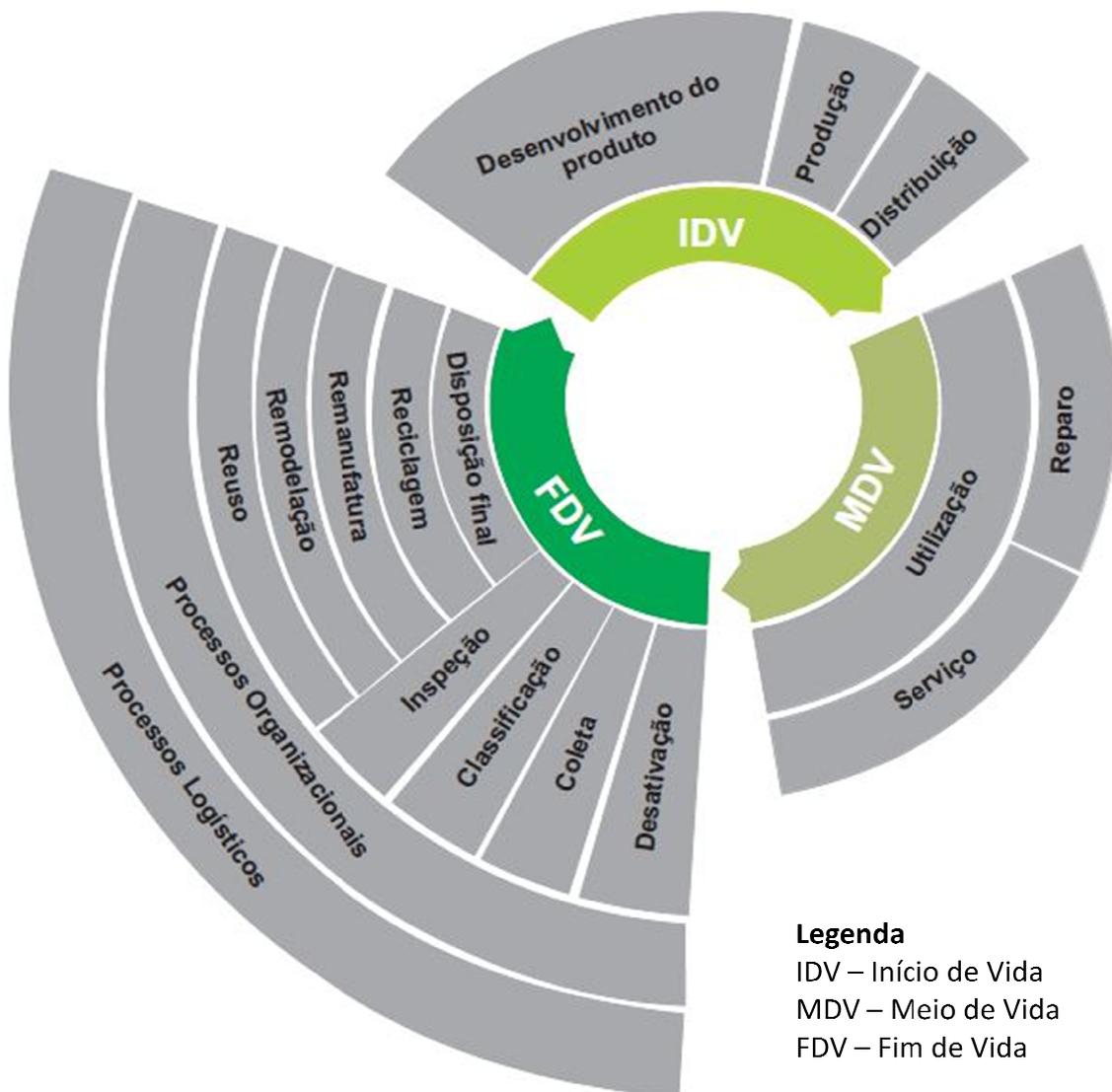


Figura 12: Processo da Logística Reversa na Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos (adaptado HRIBERNIK et al., 2011).

A Figura 12 representa as fases da LR no Ciclo de Vida de um produto que consistem: os processos logísticos e organizacionais que são fundamentais para o sucesso da Manufatura Reversa, englobando a fase de FDV dos produtos, moldando as possíveis ações a partir de sua estrutura; a fase de coleta que tem como objetivo facilitar a primeira fase da LR, recuperando os produtos obsoletos dos consumidores finais; as etapas de inspeção, classificação e desativação que consistem na avaliação da situação dos produtos coletados e a organização dos mesmos para entrarem no processo de manufatura reversa; em seguida a etapa da remanufatura, ou Manufatura Reversa, e as formas de tratamento dos materiais que serão abordadas a seguir.

Não é apenas no ambiente acadêmico que a LR vem recebendo cada vez mais atenção. Por parte das empresas isso também vem ocorrendo devido, principalmente, a dois fatores: a possibilidade de recuperação do valor agregado nos produtos; e algumas mudanças que ocorreram com o tempo, como as mudanças nas legislações e diretrizes ao redor do mundo e a consciência dos “*stakeholders*”. Outro fator é o fato da LR contribuir para a P+L e com o meio ambiente nas ações das empresas (RAVI; SHANKAR, 2005).

Portanto, a LR tem como objetivo recuperar os resíduos gerados pelo sistema produtivo, por meio de sua coleta a partir do cliente final. Além disso, visa recuperar o valor que permaneceu no produto, que após ser devolvido retorna para o processo de produção, diminuindo o desperdício de recursos e resultando em ganho para a corporação.

Abordando a eficácia da Manufatura Reversa, Andel (1997) relatou que quanto mais real a previsão da quantidade e das características do produto devolvido melhor será o planejamento e controle do processo.

Entretanto, a venda de um produto que utilizou matérias primas secundárias enfrenta alguns obstáculos como a concorrência dos produtos que utilizaram matérias primas “cruas” no mercado, pelo fato de sua resistência e durabilidade, possivelmente, apresentarem algumas divergências, o que às vezes torna o investimento na recuperação dos produtos uma atitude arriscada (HORVATH et al., 2005).

Segundo Cuddington (2008), ao se estudar o processo de Manufatura Reversa e, conseqüentemente, LR, é importante, quando for caracterizar os produtos no FDV como fontes secundárias, considerar como os recursos naturais entram no processo de manufatura, pois isso influencia diretamente nos resultados e na aceitação do mercado em relação aos produtos reciclados.

Seguindo esta abordagem, de acordo com Prallinski; Kocabasoglu (2006), o custo desses produtos recuperados pode ser reduzido, ou aumentado, dependendo do local e das instalações do sistema de LR, percebendo que a busca por aproximar esses produtos das matérias primas naturais podem aumentar seu valor agregado.

Kang; Shoenung (2005) apontam a coleta do lixo eletrônico como fundamental, pois determina diretamente a quantidade de material que estará disponível para o começo do processo de Manufatura Reversa, apontando também que a eficiência do processo varia de um lugar para o outro, pois depende da cadeia de LR utilizada e da aceitação da sociedade por produtos com matérias primas secundárias.

Desse modo, a coleta desses materiais depende mais de fatores sociais do que apenas dos métodos de coleta como tal, o que deve ser considerado quando se discute as tecnologias ou sistemas de reciclagem inovadores para o lixo eletrônico. Tal fato evidencia que sem a participação da sociedade, o sistema de coleta, desmontagem, pré-processamento e processamento final da Manufatura Reversa não pode ser executado de forma eficiente, pois não há a disponibilidade de resíduos a serem tratados (PNUMA, 2009).

2.6 Identificação dos Componentes de um microcomputador

Com a acelerada evolução dos componentes eletrônicos e a demanda da população frente às novas tecnologias, muitos dispositivos são gerados, resultando assim em grande quantidade de equipamentos obsoletos no mercado. Dessa forma o descarte desses materiais resultou em uma nova classificação para o lixo oriundo de componentes eletrônicos, denominado lixo eletrônico ou “*e-waste*” (“*electronic waste*”) que, segundo a Diretiva da União Europeia 2002/96/EC, caracteriza-se por qualquer componente elétrico ou eletrônico que não apresenta mais valor para seu proprietário.

À medida que a economia cresce e novas tecnologias são desenvolvidas a produção mundial de lixo eletrônico tende a aumentar, uma vez que, para qualquer país, o número de microcomputadores e outros itens eletrônicos está fortemente relacionado com o PIB do país (ROBINSON, 2009).

Com o surgimento dessa nova categoria de lixo alguns cuidados relacionados ao seu descarte são necessários para que a saúde humana e ambiental não sejam prejudicadas. Sendo assim, é importante a prática da reciclagem e reutilização desses componentes, uma vez que, os mesmos apresentam substâncias como metais e alguns materiais tóxicos em sua estrutura. A composição química desses resíduos varia de acordo com a idade e tipo de

produto descartado, sendo em sua maioria compostos particularmente de cobre, alumínio, ferro e outros componentes como plástico, vidro e cerâmica (OGUCHI et al., 2012).

Visando facilitar a visualização de sua composição, estudos de Smith (1999), SWICO (2011) e Oguchi et al. (2012) realizaram uma coleta de dados para estabelecer um comparativo na composição dos computadores, objetivando avaliar as modificações que ocorreram em um período de quinze anos, que são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Comparativo dos materiais presentes nos computadores

	Referência	Smith	SWICO		Oguchi et al.	
	Ano	1996/1999	2011		2012	
	Modelo	PC's	Desktop PC	Notebook	Desktop PC	Notebook
Material (% em massa)	Metal	30,2	82,3	30,4	48,0	22,9
	Plástico	23,0	6,0	38,4	2,8	25,8
	Cabos	-	3,1	0,5	-	-
	Vidro	24,9	0,0	8,8	-	-
	Placas (Circuito impresso)	27,4	8,3	14,6	9,4	13,7
	Poluentes (baterias)	22,1	0,3	6,9	-	14,4
	Outros	-	0,0	0,4	-	-

O primeiro fator relevante a destacar é que no ano de 1996 não existe a divisão entre desktops e notebooks, o que é observado nos anos de 2011 e 2012. Entretanto, observa-se que houve um aumento considerável na quantidade de metais nos desktops entre os anos de 1996 e 2011, com decréscimo no ano de 2012. As placas representavam 27,4% da composição em massa no primeiro período para os desktops, em 2011 houve redução de, aproximadamente, 70% em relação à quantidade de 1996. Outro fator observado é a contensão de poluentes em relação aos anos de 1996 e 2011, pois é possível observar uma queda do percentual apresentado, porém em 2012 esse valor dobra para os equipamentos desenvolvidos nesse período.

2.6.1 Vidro

Os componentes eletrônicos apresentam desde pequenas à grandes quantidades de vidro em sua estrutura. Relacionados aos dispositivos eletrônicos, como as televisões e computadores, são os que apresentam

maiores quantidade de vidros contendo materiais tóxicos ao meio ambiente e ao homem.

Os televisores e monitores antigos são compostos de tubos de raios catódicos (CRT), os quais são conhecidos também como cinescópio. Os monitores CRT caracterizam-se por ser um tubo, sob vácuo, contendo fonte emissora de elétrons e uma tela fluorescente a qual reproduz a imagem. Os monitores CRT representam cerca de 80% dos resíduos eletrônicos apresentando grande impacto na reciclagem ou reutilização. Em sua constituição encontram-se três tipos de vidros os quais podem conter elementos contaminantes, como os metais pesados (chumbo, estrôncio, antimônio, bário, selênio, entre outros), que representam cerca de 50 à 85% do peso total de um computador ou televisor. Sendo assim, os metais tóxicos presentes na composição dos monitores CRT representam potencial significativo referente à poluição do meio ambiente (ANDREOLA et al., 2007; MÉAR et al., 2006).

No decorrer do desenvolvimento tecnológico, os monitores CRT apresentaram diferentes formas e constituintes. Sendo assim, é possível encontrar dois tipos de cinescópio no mercado: os monitores CRT monocromáticos e os coloridos. Ambos possuem diferentes constituições e são apresentados na Figura 13.

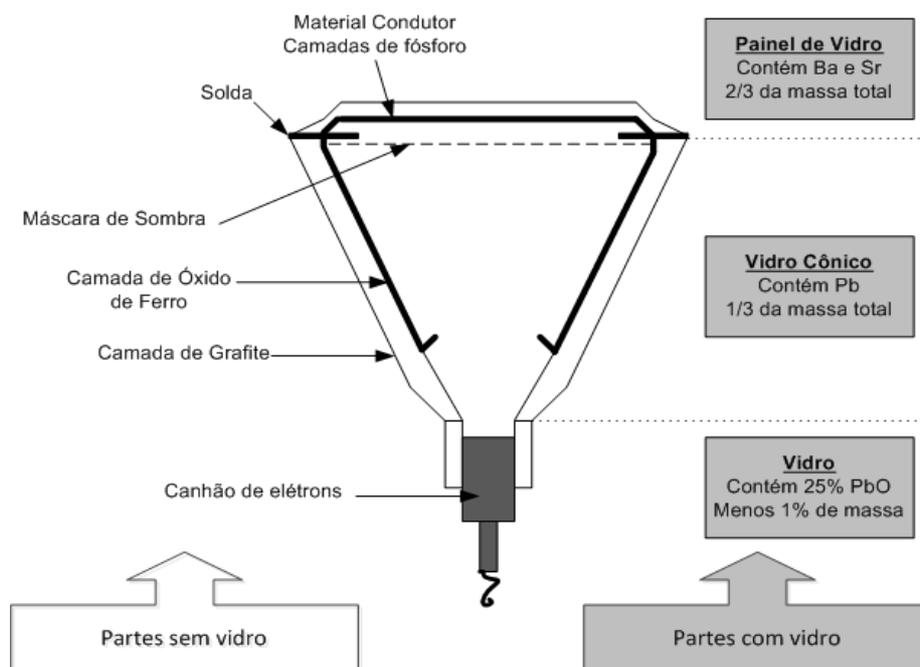


Figura 13: Desenho esquemático dos componentes do monitor CRT (componentes com e sem vidros) (adaptado EPA, 2001).

O vidro constitui a parte frontal tanto dos monitores como dos televisores e, usualmente, são constituídos de bário e estrôncio e livres de chumbo desde 1995. Entretanto, esses três componentes encontram-se nas soldas utilizadas sendo constituídas de 85% de chumbo (ANDREOLA et al., 2007; EPA, 2001).

A parte descrita como vidro na Figura 13 possui grande quantidade de silicato de chumbo (cerca de 25% em peso de PbO), correspondente aos elétrons, sendo que na região do vidro cônico a quantidade de chumbo é inferior (cerca de 20% em peso). A quantidade de chumbo existente nessa região é essencial para a absorção de raios X e UV produzidos pelos elétrons. O chumbo é utilizado na composição dessas regiões devido ao baixo custo apresentado, entretanto a preocupação com sua concentração vem aumentando com o tempo, pois o mesmo é danoso tanto para a saúde do ser humano como para a natureza.

Os monitores à cor utilizam bário e estrôncio na geração da imagem, substituindo o chumbo, devido à necessidade da coloração, uma vez que o vidro que contém esses componentes são transparentes à radiação raio X (quando os elétrons ultrapassam o painel). O chumbo é utilizado somente em monitores branco e preto. O vidro cônico contém também óxido de ferro e grafite no seu interior juntamente com outros componentes como o canhão de elétrons, máscara de metal, bobina defletora, pinos de metal e cabos, dificultando o processo de reaproveitamento desses componentes, devido à variação dos componentes em sua constituição (MÉAR et al., 2006).

Os vidros dos monitores CRT contêm metais pesados em sua estrutura, sendo assim é importante identificá-los para reutilização e/ou reciclagem adequada desses componentes. Com a evolução dos monitores e televisores os compostos químicos existentes também foram alterados devido à necessidade de adaptação ao novo mercado.

Dessa forma os monitores CRT foram substituídos pelos displays de cristal líquidos (“*Liquid Crystal Display*” - LCD). Os aparelhos LCD apresentam imagem de alta qualidade e são utilizados em televisores, monitores, aparelhos celulares, entre outros componentes. O LCD consiste de um líquido polarizador de luz, eletricamente controlado, que se encontra comprimido entre duas lâminas alinhadas perpendicularmente entre si, providas de contatos elétricos

permitindo a aplicação de um campo elétrico no líquido. Os monitores LCD caracterizam-se por serem leves, portáteis e com baixo consumo de energia Lin et al. (2009).

A evolução na manufatura dos monitores resultou em ganhos ambientais e, conseqüentemente sociais, pois os monitores LCD utilizam uma menor quantidade de potenciais contaminantes, tal que Mostaghel; Samuelsson (2010) e Lin et al. (2009) realizaram estudos com o objetivo de contabilizar a quantidade de compostos químicos e metais pesados existentes nos componentes dos vidros dos monitores CRT e LCD, conforme apresentados na Tabela 6.

Há uma diferença significativa na proporção dos componentes químicos e dos metais pesados quando se compara os monitores CRT e LCD, tal que é possível observar que nos monitores LCD existe um menor teor dessas substâncias, tornando-os dessa forma, menos danosos ao meio ambiente e à saúde humana. Porém, esses componentes também requerem atenção quanto à sua forma de tratamento e destinação final quando descartados, uma vez que podem causar sérios danos aos seres humanos e a natureza quando descartados em grandes quantidades.

Váriasecoinovações estão sendo desenvolvidas buscando diminuir o consumo desses componentes na manufatura dos monitores, destacando a constante minimização na quantidade de recursos utilizados, facilmente percebida quando se analisa a variação na espessura e no peso dos monitores, as variações nos tipos de materiais utilizados, onde são buscados componentes menos danosos ao meio ambiente, as melhorias na qualidade das imagens, entre outras características.

Essas mudanças contribuem com uma menor degradação do meio ambiente, tanto na extração quanto no fim de vida desses equipamentos, pois com a crescente produção desses equipamentos, assim como as mudanças constantes em seus modelos e funcionalidades, os mesmos são cada vez mais consumidos no mercado.

Tabela 6: Composição química e de metais pesados contidos nos vidros dos monitores (MOSTAGHEL; SAMUELSSON, 2010 e LIN et al., 2009).

Composição	Proporção	Painel de Vidro	Cônico	LCD
SiO ₂		58,9-65,4	51,2-63,5	72,84
Al ₂ O ₃		1,2-3,7	3,9-5,0	
Na ₂ O		6,2-9,8	5,3-8,1	0,3
K ₂ O		6,0-9,0	7,2-10,3	-
Li ₂ O		0,0-0,5	-	-
F		0,0-0,8	-	-
BaO		1,9-14,2	0,0-3,0	-
SrO		0,0-11,6	0,2-0,7	-
CaO		0,0-4,6	1,6-4,5	20,06
MgO	%/ peso	0,0-2,0	0,9-3,0	-
As ₂ O ₃		0,0-0,3	0,0-0,2	-
Sb ₂ O ₃		0,2-0,7	0,0-0,4	-
TiO ₂		0,0-0,6	-	-
CeO ₂		0,0-0,6	-	-
PbO		0,0-3,3	11,6-24,6	-
ZrO ₂		0,0-3,5	0,2-0,2	-
ZnO		0,0-0,7	-	-
Fe ₂ O ₃		0,0-0,1	-	-
Cu		-	-	11
Zn		-	-	77
Pb	mg/kg	-	-	5
Cr		-	-	11
Cd		-	-	não detectado
Fe		-	0,2	-
Si		-	26,2	-
Ca		-	0,7	-
Al		-	1,1	-
Ba	%/ peso	-	6,8	-
Na		-	6,5	-
K		-	6	-
Sr		-	3,9	-
Pb		-	6,5	-

2.6.2 Plástico

Os componentes eletrônicos apresentam quantidades consideráveis de plástico em sua estrutura. Os polímeros (plástico e borracha) têm grande utilidade por apresentarem resistência, praticidade, leveza e durabilidade relacionada ao preço (CANGEMI et al., 2005).

Os plásticos são utilizados em dispositivos eletrônicos para isolamento, redução de ruído, vedação, no interior em peças estruturais, peças funcionais, entre outras, apresentam baixo custo e transformam-se em materiais leves de alta durabilidade com baixa condutividade térmica. (BREBU et al., 2004).

Em geral, cerca de 8 a 12 diferentes tipos de plástico são encontrados nos dispositivos eletrônicos. As principais resinas utilizadas na indústria eletrônica são poliestireno de alto impacto (HIPS), acrilonitrila butadieno estireno (ABS), polifenileno éter (PPE), cloreto de polivinil (PVC), policarbonato (PC) e óxido de polifenileno (PPO) que são encontrados, principalmente, nos computadores (KANG; SCHOENUNG, 2005).

Os compostos plásticos correspondem à 30% de todo o lixo eletrônico gerado no mundo. Em sua essência os polímeros são produzidos com a utilização de retardadores de chama, os quais são utilizados para a redução do risco de incêndio, aumentando assim sua resistência ao fogo. A maioria dessas substâncias são formadas por compostos orgânicos e inorgânicos, os quais apresentam compostos minerais em suas propriedades. Dentre as substâncias utilizadas a que apresenta maior utilização são os compostos bromados. O aumento do consumo desses compostos nos polímeros ocorreu devido ao fato de: apresentar variedade química (75 formas diferentes), eficiência quanto à prevenção de chamas, aplicabilidade universal, por atender à normas de inflamabilidade em alguns plásticos e resinas; e serem facilmente reciclados (DAWSON et al., 2004; DE BOER, 2004).

Em contrapartida, Eriksson; Jakobsson (2001) indicaram que os compostos bromados (BFRs) causam danos no sistema nervoso dos animais e possivelmente interferem também em seu sistema reprodutivo. Outro fator observado é que a decomposição de determinados tipos de BFRs resultam na formação de produtos tóxicos e acumulativos no meio ambiente. Para a

fabricação de plásticos também destaca-se a utilização de derivados do petróleo, o qual apresenta inúmeros materiais orgânicos em sua decomposição (YANG et al., 2013).

Para o tratamento de resíduos plásticos oriundos do lixo eletrônico, destacam-se quatro atividades principais:

- Disposição em aterros: opção menos favorável, a qual consiste em enterrar plásticos sob camadas de terra. Resultam no vazamento de compostos nocivos no solo, causando a contaminação dos lençóis freáticos (UNEP, 2005);
- Reciclagem mecânica: caracteriza-se pelo reprocessamento do lixo eletrônico para a formação de um novo produto de plástico semelhante ou de menor desempenho que o original. Nesse processo é necessária a separação de componentes heterogêneos antes do início da reciclagem mecânica, além de apresentar a possibilidade de formar compostos bromados tóxicos quando expostos ao estresse térmico (NNOROM; OSIBANJO, 2008; SCHLUMMER et al., 2006);
- Reciclagem energética: utilização de energia térmica para incineração do plástico presente no lixo eletrônico em uma caldeira ou em outro equipamento industrial. A liberação de compostos bromados também deve ser considerada nesse processo, uma vez que altas temperaturas são utilizadas (FISCHER et al., 2005);
- Reciclagem da matéria prima: reciclar a matéria prima com o intuito de converter materiais orgânicos contidos no plástico em combustíveis, monômeros especiais ou produtos químicos valiosos por meio da pirólise e gaseificação. É a opção mais valiosa para a reciclagem do plástico, pois a pirólise consome apenas 10% do conteúdo energético dos plásticos, porém esse mesmo processo pode gerar a formação de compostos bromados (NNOROM; OSIBANJO, 2008; SCHLUMMER et al., 2007).

Em média, a fração de plástico presente no lixo eletrônico apresenta os metais antimônio (Sn), cádmio (Cd), chumbo (Pb), níquel (Ni) e zinco (Zn) . As concentrações de Sb e Cd apresentam valores superiores a 1000 mg/kg e 100

mg / kg, respectivamente. (MORF et al., 2007). A liberação dessas substâncias no meio ambiente ocorre através da combustão ou dissolução resultando em compostos lixiviados.

2.6.3 Placas e Metais

As placas (circuitos impressos) apresentam diferentes componentes em sua estrutura. Referente aos metais é possível destacar (OGUCHI et al., 2011; WIDMER et al., 2005):

- Metais comuns: o alumínio (Al), cobre (Cu), ferro (Fe), estanho (Sn), chumbo (Pb) e Zinco (Zn);
- Metais preciosos: prata (Ag), ouro (Au) e paládio (Pd);
- Metais menos comuns: bário (Ba), bismuto (Bi), cobalto (Co), gálio (Ga), estrôncio (Sr) e tântalo (Ta);
- Tóxicos: mercúrio (Hg), arsênio (As), cádmio (Cd), estanho (Sn), cromo (Cr) hexavalente e retardadores de chama (BFRs) que geram a emissão de dioxinas quando queimados, entre outros.

Com o intuito de recuperar eficientemente metais preciosos e menos comuns, Oguchi et al. (2011), construiu uma analogia entre a exploração de recursos naturais e a recuperação de materiais metálicos oriundos da reciclagem de diversos produtos eletrônicos em fim de vida, considerando esse meio um recurso secundário para a obtenção de metal, como mostrado na Figura 14.

As etapas para obtenção de materiais metálicos por meio de recursos naturais são apresentadas na Figura 14a. Minérios brutos são extraídos por meio do processamento mineral, posteriormente são concentrados e submetidos ao processo de fundição e refino. Para que esse processo seja iniciado prospecções, explorações e estudos de viabilidade são realizados antes da mineração para identificar quais as áreas propícias à prática da extração. A partir da exploração, análises das condições geológicas são desenvolvidas para determinar os recursos e a quantidade de reservas disponíveis. Em seguida um estudo mais detalhado da viabilidade referente aos processos de extração, fundição e refino é elaborado e avaliado para a realização de um projeto final bem elaborado antes da decisão final ser tomada.

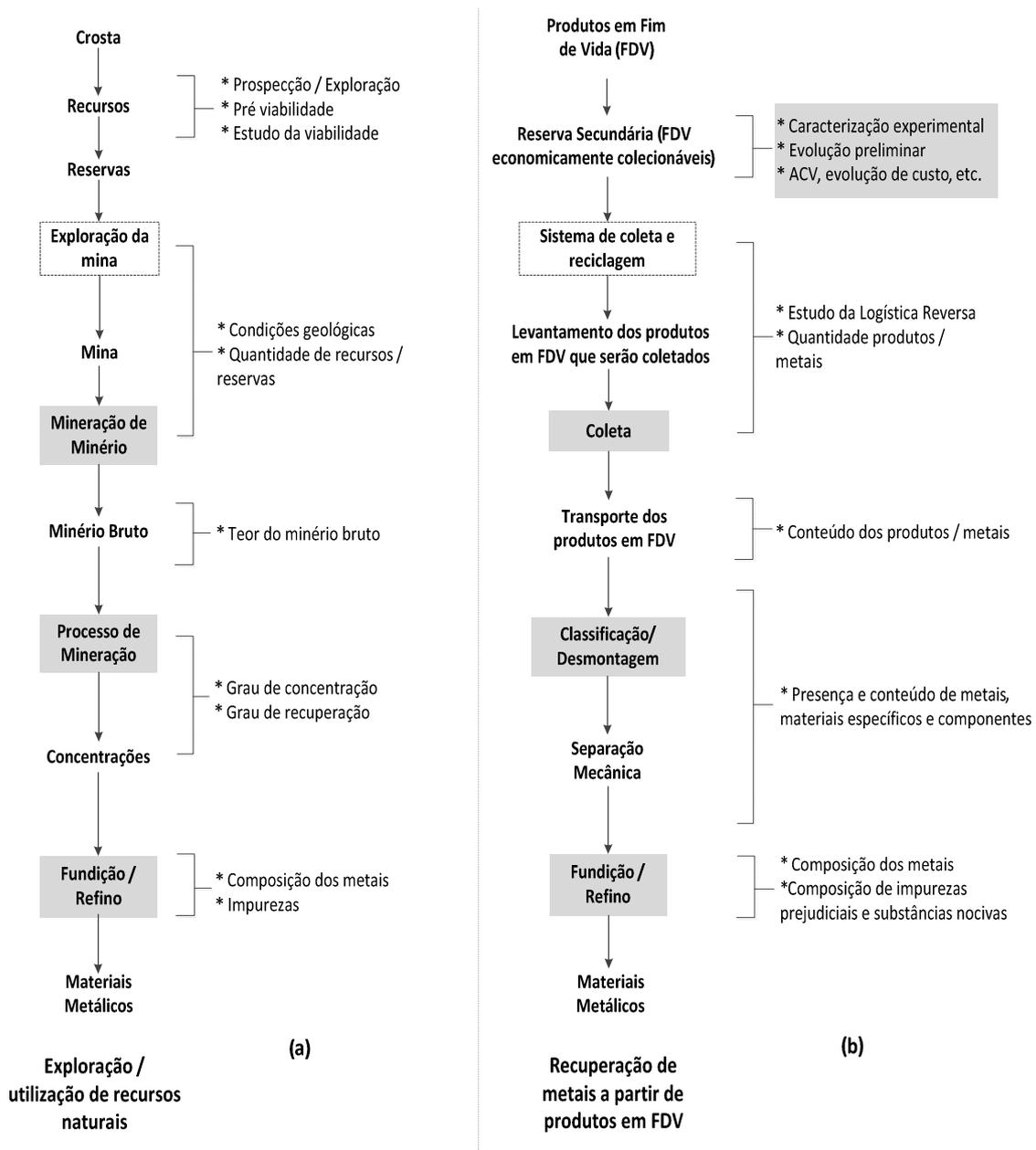


Figura 14: Analogia entre a extração natural (a) e a reutilização de produtos em Fim de Vida (b) para obtenção de materiais metálicos (adaptado de OGUCHI et al., 2011).

A extração de recursos metálicos a partir da recuperação de produtos em FDV é apresentada na Figura 14b. Reservas secundárias são produtos eletrônicos que apresentam condições de recuperação para a extração de materiais metálicos. Para a prática dessa ação é importante considerar as etapas de coleta, triagem, caracterização, separação, fundição e refino. A etapa de coleta caracteriza a mineração na extração de recursos naturais, o processo de mineração é representado pela desmontagem e separação mecânica para a recuperação de produtos em FDV.

É possível observar que a utilização de recursos naturais envolve etapas de prospecção, exploração e viabilidade, as quais também são necessárias antes da coleta e do sistema de reciclagem para que os produtos adequados sejam escolhidos como alvo da extração. A etapa de levantamento quantitativo dos produtos/metals proporcionam a identificação do teor de metal existente no produto em FDV possibilitando avaliar a viabilidade econômica para a prática da reciclagem desse produto. A presença e concentração de cada metal presente no material são fatores cruciais no processo de desmontagem e separação para a identificação de substâncias nocivas ou impurezas que possam afetar o processo de fundição e refino do material.

Além de afetar os processos de fundição e refino, as substâncias nocivas e impurezas contidas nos produtos em FDV também prejudicam o meio ambiente e a vida humana se descartados de forma inadequada. Como apresentado na Tabela 5, as placas (circuitos impressos) compõem, em média, 13,6 % do peso dos equipamentos em FDV. Oguchi et al. (2011) realizou uma pesquisa que apresenta (Tabela 7) a média dos valores de metais comuns, preciosos e menos comuns presentes nos circuitos impressos.

Segundo a Tabela 7, é possível observar que em relação aos metais comuns, o telefone móvel apresenta as maiores proporções de Cu e Sn na estrutura do equipamento. Em contrapartida, as impressoras apresentam o Al em maior proporção, o desktop PC apresenta altas quantidades de Cu e Pb e o notebook PC apresenta elevada quantidade de Cu. Dentre os metais preciosos o telefone móvel lidera o ranking com maiores proporções dos compostos metálicos, sendo observadas maiores proporções de Ag. Em relação aos metais menos comuns o telefone móvel também lidera o ranking de maiores proporções, sendo o Ba identificado em maior quantidade.

Além da quantificação dos compostos metálicos apresentados anteriormente faz-se necessário mensurar os componentes tóxicos existentes nas placas que apresentam impactos nocivos à humanidade e ao meio ambiente.

Tabela 7: Quantidade de metais em placas de circuito impresso de equipamentos eletrônicos (mg/kg) (adaptado OGUCHI et al., 2011).

Equipamento	Número de amostra	Quantidade de metais em placas de circuito impresso (mg/kg)														
		Metais Comuns						Metais Preciosos			Metais menos comuns					
		Al	Cu	Fe	Pb	Sn	Zn	Ag	Au	Pd	Ba	Bi	Co	Ga	Sr	Ta
CRT TV	5	62.000	72.000	34.000	14.000	18.000	5.300	120	5	20	2.400	280	36	-	550	-
LCD TV	1	63.000	180.000	49.000	17.000	29.000	20.000	600	200	-	3.000	-	-	-	300	-
Desktop PC	8	18.000	200.000	13.000	23.000	18.000	2.700	570	240	150	1.900	50	48	11	380	7
Notebook PC	2	18.000	190.000	37.000	9.800	16.000	16.000	1.100	630	200	5.600	120	80	10	380	5.800
Telefone	1	67.000	96.000	150.000	19.000	34.000	8.600	2.400	-	-	4.700	400	100	-	300	-
Impressora	2	180.000	140.000	17.000	10.000	16.000	4.200	70	38	21	3.000	9	39	3	170	-
Telefone móvel	19	15.000	330.000	18.000	13.000	35.000	5.000	3.800	1.500	300	19.000	440	280	140	430	2.600

Com o objetivo de estudar os componentes tóxicos da cidade de Hitachi, no Japão, Oguchi et al. (2012) estimou as quantidades existentes de metais tóxicos no lixo eletrônico, conforme Figura 15.

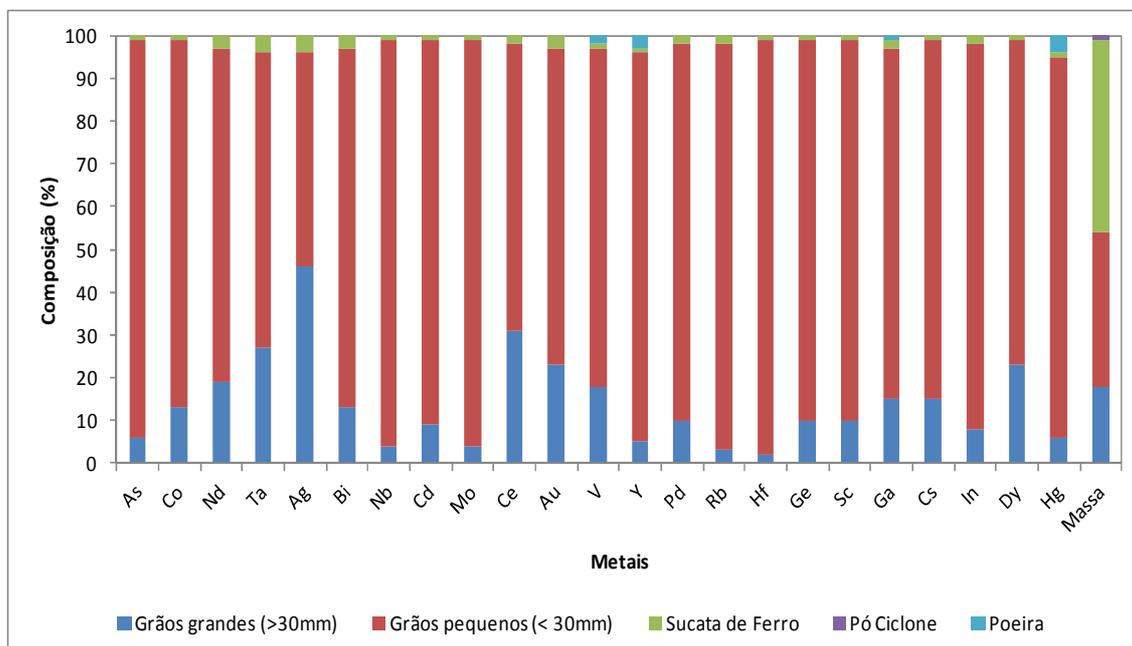


Figura 15: Composição dos metais tóxicos contidos no lixo eletrônico (adaptado OGUCHI et al., 2012).

A partir de uma determinada quantidade de massa de lixo eletrônico, a composição dos agentes tóxicos, também chamados de metais pesados, foi determinada em porcentagem para avaliar a composição dos mesmos nas proporções de grãos grandes ou pequenos, na sucata de ferro, pó e poeira. É possível verificar que a composição dos metais é encontrada, em sua maioria, na forma de grãos pequenos facilitando assim sua dispersão no ambiente no qual está inserido. Sendo assim, as chances de contaminação tanto do meio ambiente quanto do homem são significativas, principalmente quando estes componentes entram em contato com a água.

No ser humano, os metais pesados, tais como chumbo e mercúrio podem causar sérios danos ao sistema nervoso central e periférico. O chumbo, particularmente, tem graves efeitos sobre o desenvolvimento do cérebro em crianças, danificando também o sistema circulatório, rins e sistema reprodutivo. O mercúrio pode danificar o rim e a exposição de mães grávidas a esse agente metal pode afetar o desenvolvimento fetal; quando em contato com a água torna-se letal sendo convertido em metilmercúrio, tornando-se componente da cadeia alimentar. A exposição ao berílio, bário e retardadores de chamas

bromados (BFRs) podem causar sérias complicações à saúde também. Maiores detalhes sobre os efeitos causados pelos metais pesados e a origem dos mesmos no lixo eletrônico são apresentados na Tabela 8 (MAHESHWARI et al., 2013).

Tabela 8: A origem dos metais pesados no lixo eletrônico e seus efeitos na saúde humana (adaptado MAHESHWARI et al., 2013)

<i>Origem</i>	<i>Metais pesados</i>	<i>Efeitos na saúde humana</i>
Solda em placas de circuitos internos, vidro do monitor	Chumbo (Pb)	Danos ao sistema nervoso central e periférico, sistemas circulatórios e rins. Afeta o desenvolvimento do cérebro de crianças.
Resistência de chips e semicondutores	Cádmio (Cd)	Acumula-se no rim e fígado, causa dano neural, teratogênico.
Relés, interruptores e placas de circuitos impressos	Mercurio (Hg)	Danos crônicos no cérebro, na pele e distúrbios respiratórios oriundos da ingestão de peixe (bioacumulação).
Proteção contra corrosão de aço tratado, placas galvanizadas e decoradores/endurecedores para caixa de aço	Cromo hexavalente (Cr) VI	Bronquite asmática e danos no DNA.
Cabeamento e caixa do computador	Plásticos, incluindo o PVC	Produção de dioxina por meio da queima, problemas reprodutivos, danos ao sistema imunológico, interferência nos hormônios reguladores.
Caixa de plásticos dos equipamentos eletrônicos e placas de circuito	BFRs	Disfunção do sistema endócrino.
Painel frontal dos CRT	Bário (Ba)	Exposição em curto prazo resulta em fraqueza muscular, danos ao coração, fígado e baço.
Placa mãe	Berílio (Be)	Causa câncer de pulmão, inalação provoca a doença crônica (berylliosis), doenças da pele (verrugas).

Além dos efeitos causados na saúde humana, o lixo eletrônico também apresenta riscos ao meio ambiente, entretanto o perigo ambiental causado pelo lixo eletrônico ainda não é muito discutido (MAHESHWARI et al., 2013). Embora a separação remova alguns dos contaminantes existentes nesses componentes, grandes concentrações ainda podem ser encontradas em aterros sanitários ou centros de reciclagem, devido a falta de uma estrutura de LR que facilite a entrega desses materiais pela sociedade, além da consciência da população no descarte desses materiais.

Devido à grande quantidade de lixo eletrônico gerado mundialmente, processos manuais de reciclagem, realizados de maneira inadequada nos países emergentes, resultam na intoxicação das pessoas que realizam essa atividade e na contaminação significativa do solo, água e ar. (KIDDEE et al., 2013)

Um levantamento foi realizado referente às substâncias tóxicas que afetam o ambiente com a prática da reciclagem do lixo eletrônico. Além dos metais pesados como o cádmio, o chumbo, mercúrio entre outros, elementos orgânicos como bifenilos policlorados (PCBs), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs), retardadores de chamas bromados (BFRs), éteres difenil-polibromados (PBDEs), os dibenzo-p-dioxinas/furanos (PCDD/F) são formados durante o processo bruto térmico da reciclagem, que ocorre muitas vezes com a queima do lixo eletrônico a céu aberto em alguns países emergentes. Além disso, compostos como o polibromados dibenzo-p-dioxinas e dibenzofuranos (PBDD/Fs), resultam em subprodutos quando há impurezas presentes nos PBDEs e PCDD/F durante a reciclagem de plásticos. Altas concentrações de PBDEs, PAHs, PCDD/Fs e PCBs são encontradas nos solos (KIDEE et al., 2013), conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Substâncias tóxicas relacionadas à reciclagem do lixo eletrônico

<i>Ambiente</i>	<i>Substância tóxica</i>	<i>Referência</i>
Solo	PBDES	Wang et al. (2011)
	PAHs	Tang et al. (2010)
	PCDD/Fs	Shen et al. (2009)
	PCBs	Tang et al. (2010)
	As, Cu, Cr, Cd, Hg, Pb e Zn	Tang et al. (2010)
	Ag, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, In, Hg, Mn, Mo, Pb, Sb, Sn, Tl, V e Zn	Ha et al. (2009)
Água	As, Cd, Cr, Cu, F, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn	Wang and Guo (2006)
	Ag, Al, As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, Ti, V e Zn	Wong et al. (2007b)
	PBDEs	Muenhor et al. (2010)
Ar	PAHs	Deng et al. (2006)
	PCDD/Fs	Li et al. (2007)
	PBDD/Fs	Li et al. (2007)
	As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn	Deng et al. (2006)
	Ag, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, In, Hg, Mn, Mo, Pb, Sb, Sn, Tl, V e Zn	Ha et al. (2009)

Segundo Wang; Guo (2006) a análise de concentração das substâncias tóxicas na água apresentaram concentrações apreciáveis de chumbo em águas superficiais a jusante de indústrias de reciclagem de lixo eletrônico em Guiyu, China. Os valores de concentração de chumbo apresentaram valores oito vezes maiores que o padrão de água potável da China. Em relação à contaminação do ar, é comprovada a presença de compostos clorados, bromados e metais pesados nas regiões onde existe a prática da reciclagem de lixo eletrônico.

A emissão de componentes tóxicos oriundos do processo de reciclagem resulta em ameaças ao ambiente e ao ser humano. Além disso, com o aumento da

resistência dos contaminantes orgânicos com o passar do tempo, é possível a formação de metabolitos potencialmente mais tóxicos que os compostos de origem. Dessa forma, se torna necessária a prática de pesquisas relacionadas à presença dessas substâncias no ambiente, ampliando os questionamentos referente à saúde ambiental e os impactos dos mesmos na vida terrestre e aquática (KIDEE et al., 2013)

Além da prática da reciclagem, outra atividade para o descarte de lixo eletrônico é a disposição em aterros. Em países desenvolvidos e em desenvolvimento muitos aterros são encontrados, porém nem todos são capacitados para o tratamento adequado desse material. Da mesma forma que a reciclagem, a disposição em aterros oferece riscos ao meio ambiente, principalmente relacionado à contaminação de águas subterrâneas por meio do chorume. Devido à grande quantidade de materiais orgânicos, inorgânicos e metais pesados contidos em sua estrutura, altas concentrações dessas substâncias são dissolvidas no solo por meio da lixiviação.

Um estudo apresentado por SPALVINS et al., (2008) demonstrou que a concentração de Pb lixiviado em aterros que continham o descarte de equipamentos eletrônicos atingia valores entre 7~66 µg/L, uma vez que, aterros que não possuíam lixo eletrônico essa concentração variava entre 2~54 µg/L.

A prática da incineração propicia o aumento da mobilidade dos metais, especialmente do Pb, tornando-os mais propensos à contaminação do solo. Além disso, outros componentes como compostos orgânicos e GEE são gerados durante a incineração, resultando na poluição do ar ao redor da região onde a atividade é executada. A presença de arsênio (As) e amianto podem atuar como catalisadores para aumentar a formação de dioxinas na natureza e na sociedade, apresentando como principal problema o fato de serem cancerígenas. A contaminação vinda da incineração não é percebida somente durante a queima, mas também nas cinzas resultantes no fim do processo que contém quantidades concentradas desses componentes (MAHESHWARI, 2013; TANSKANEN, 2013; NNOROM; OSIBANJO, 2008).

2.7 Produção dos Produtos Eletrônicos Portáteis e os Computadores Pessoais

A escolha dos produtos eletrônicos se baseou em dois fatores principais: seu potencial impactante tanto em termos sociais quanto ambientais, uma vez que sua cadeia de produção utiliza diversos componentes que contaminam o meio ambiente, assim como, após seu consumo, esses equipamentos acarretam em impactos sociais, tal que sua disposição final inadequada afeta as populações que o recebem; e o aspecto financeiro, pois sua escala de produção tem aumentado consideravelmente com o passar dos anos.

A Figura 16 faz um comparativo no crescimento da indústria dos computadores comparando os dois últimos relatórios do ITU (International Telecommunication Union) referente aos anos de 2010 e 2011 em alguns países pelo mundo, incluindo o Brasil, relacionando-os com o crescimento da Europa e do Mundo de uma maneira geral.

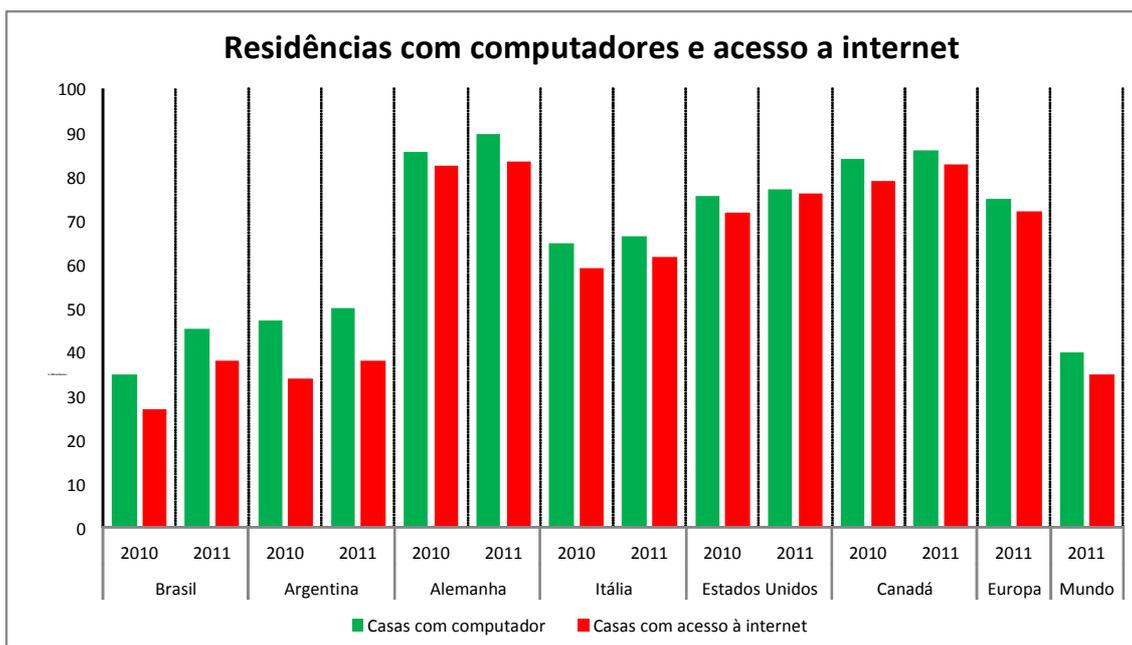


Figura 16: Residências com computadores e com acesso a internet em alguns países do mundo, comparados com o crescimento da Europa e do Mundo (adaptado ITU WORLD TELECOMMUNICATION, 2012).

Observa-se no gráfico a posição do Brasil em relação a porcentagem de casas que possuem computadores e as que possuem acesso a internet, em relação à alguns outros países. É evidente o crescimento do país em relação aos demais países analisados em valores percentuais, uma vez que a taxa de crescimento

das residências que possuem computadores no Brasil chega a quase 10% entre os anos de 2010 e 2011, enquanto que nos demais países esse crescimento foi de aproximadamente 6% na Argentina, 4% na Alemanha e 2% para a Itália, Estados Unidos e Canadá.

Outro aspecto relevante apresentado pelo ITU é a capacidade de aumento da demanda de mercado para alguns países, como no Brasil, onde a porcentagem de casas com computadores e acesso a internet não chegam a 50%. De uma maneira geral, pode-se notar que isto também se aplica para o mundo.

Vários são os aspectos que resultam no aumento da produção dos computadores, como o crescimento do PIB nos países em desenvolvimento que, somado ao número de residências sem acesso aos computadores em relação à quantidade de residências do país, resulta em maiores possibilidades de aquisição desses materiais, a facilidade de aquisição desses equipamentos, o desenvolvimento de novas funcionalidades para esses equipamentos, as inovações em relação a espessura e o peso desses equipamentos, entre outros. Tais fatos mostram que o mercado dos produtos eletrônicos, de maneira específica os computadores pessoais e portáteis tem uma grande probabilidade de crescimento no Brasil durante os próximos anos.

Na Figura 17 tem-se, de uma maneira mais específica, indicadores do desenvolvimento social brasileiro comparando a evolução da cadeia produtiva dos computadores com outras áreas no país que contribuem, direta ou indiretamente, para esse aumento.

Quando se compara o crescimento dos indicadores apresentados, pode-se notar que o computador tem certo destaque, uma vez que é um dos indicadores que mais cresceram no país entre os anos de 2010 e 2011, mesmo quando comparado com o crescimento da internet e das assinaturas dos telefones móveis.

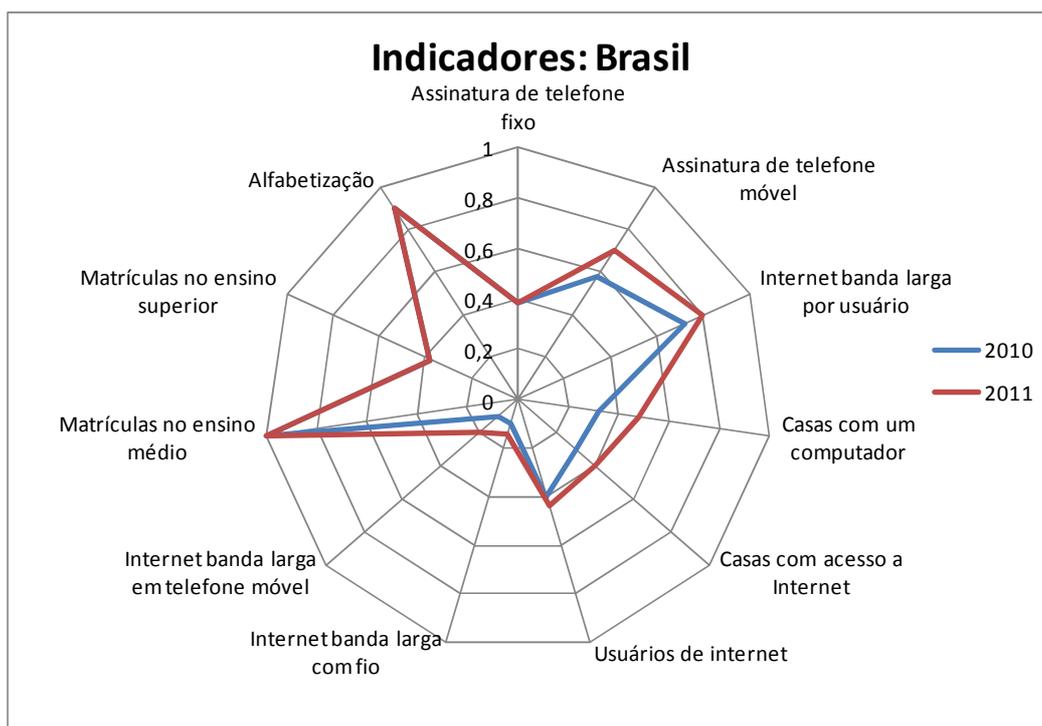


Figura 17: Indicadores de desenvolvimento no Brasil em áreas diferentes (adaptado ITU WORLD TELECOMMUNICATION, 2012). Nota: Este gráfico mostra valores normalizados dos indicadores incluídos no IDI (ICT Development Index).

Esse crescimento ocorre devido a diversos fatores, como a variação no PIB (Produto Interno Bruto) nacional, a facilidade na aquisição desses produtos, maior exigência do mercado consumidor em relação ao bem estar, melhora no padrão de vida dos brasileiros, entre outros aspectos, podendo entender que esses números podem continuar crescendo nos próximos anos, de acordo com os índices de desenvolvimento do país.

A Figura 18 mostra a situação da produção dos computadores em relação a outros equipamentos eletrônicos no país.

Quando se compara o crescimento dos computadores com os demais bens duráveis produzidos em larga escala no Brasil, observa-se que o crescimento dos computadores possui uma curva ascendente desde o ano de 2001, diferentemente da televisão que possui um crescimento menos ascendente no mesmo período, devido à saturação das casas com esses equipamentos. O acesso à internet a partir dos microcomputadores também cresce em proporção parecida.

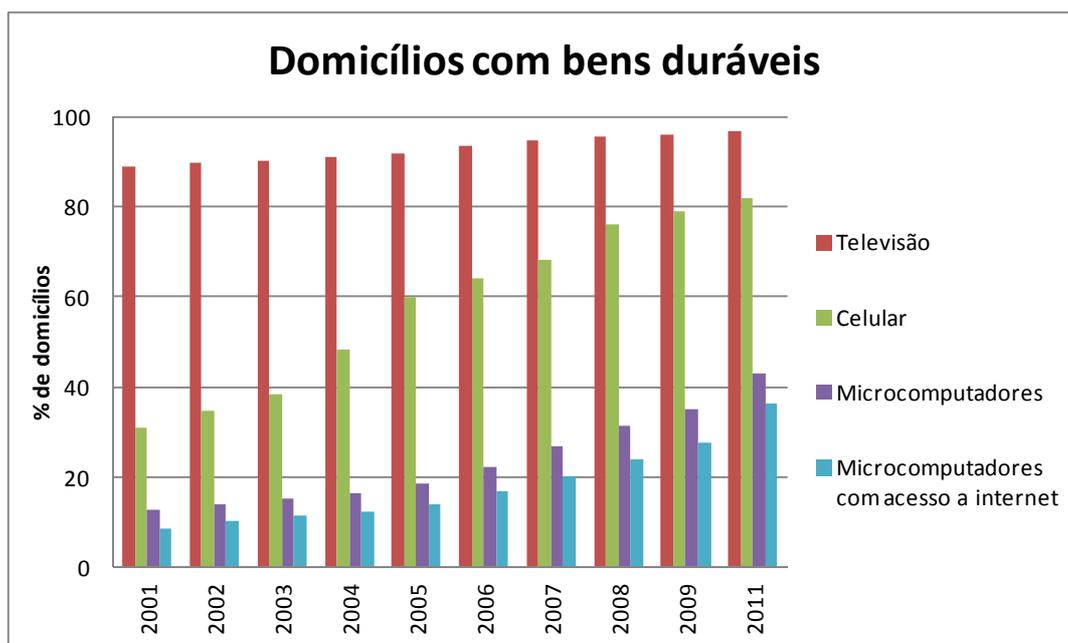


Figura 18: Indicadores das residências com bens duráveis no Brasil (adaptado IBGE, 2013).

O computador só perde para o crescimento dos celulares no país, fato motivado, principalmente, pelo aumento das funcionalidades dos telefones portáteis, assim como a variação nos preços, onde se encontram celulares por todo tipo de preço no país, o que ainda não acontece com os computadores pessoais ou portáteis.

Entretanto, quando se pensa nos computadores, se faz necessário ainda observar a variação de crescimento de cada tipo de equipamento, uma vez que suas características e público alvo variam de acordo com os mesmos, o que altera também a quantidade de componentes e recursos utilizados na sua fabricação no país. Portanto, a Figura 19 apresenta a produção dos computadores, dividindo-os em desktop, notebook e tablets, de uma maneira geral.

Observa-se quantitativamente a distribuição do mercado brasileiro na produção dos computadores, podendo destacar que, apesar dos microcomputadores apresentarem uma estabilização com o passar dos anos, o que não ocorre com o notebook, os mesmos são uma fatia importante em relação a sua quantidade produzida e a quantidade já existente, quando se pensa nos impactos potenciais que são gerados a partir do descarte inadequado desses equipamentos.

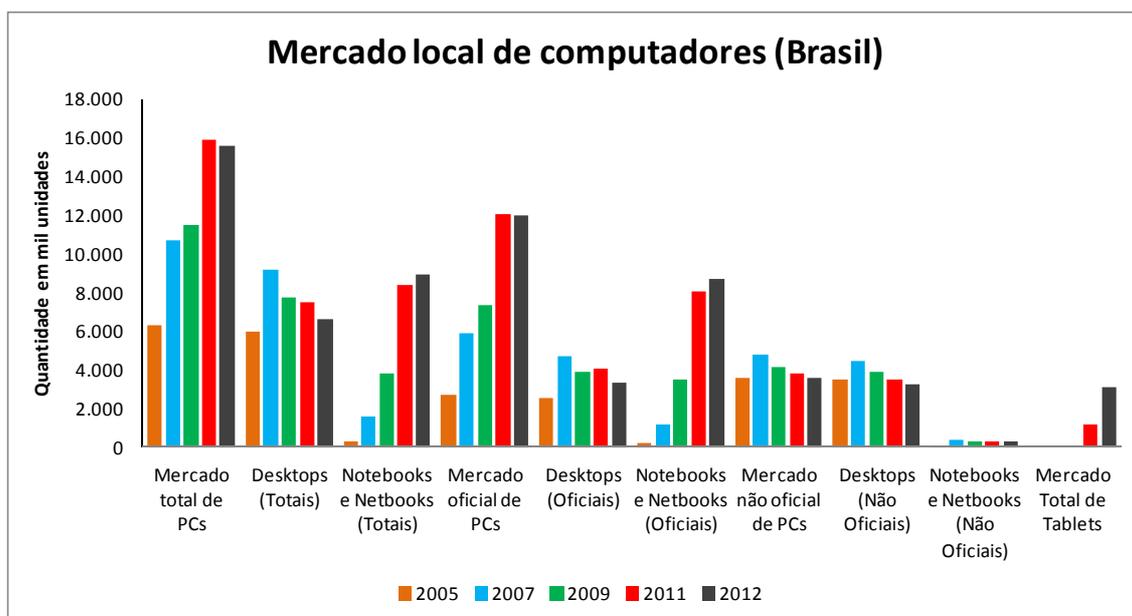


Figura 19: Mercado local dos computadores (adaptado ABINEE, 2013).

Outro fato relevante é a grande quantidade de equipamentos que entram no mercado nacional sem serem considerados como vendas oficiais, o que dificulta o recolhimento desses materiais por parte dos fabricantes, devido a dificuldade na responsabilidade da geração desses equipamentos. Este fato, aliado a dificuldade em se destinar adequadamente esses equipamentos no país e a cultura da população, aumenta a possibilidade de destinação inadequada desses equipamentos no meio ambiente.

Por fim, a Figura 20 mostra a evolução da quantidade de computadores nas residências brasileiras, relacionados com o acesso a internet dos mesmos e a porcentagem em relação à quantidade de domicílios, visando sintetizar a possibilidade de crescimento deste mercado.

É possível observar a curva ascendente do percentual de domicílios com computadores e com acesso a internet, evidenciando que a cadeia produtiva dos computadores no país, de uma maneira específica, tende a crescer nos próximos anos. Portanto, a escolha do microcomputador como objeto de estudo ocorreu com o intuito de se minimizar os impactos que essa produção poderá ocasionar tanto ao meio ambiente como a sociedade, de uma maneira geral.

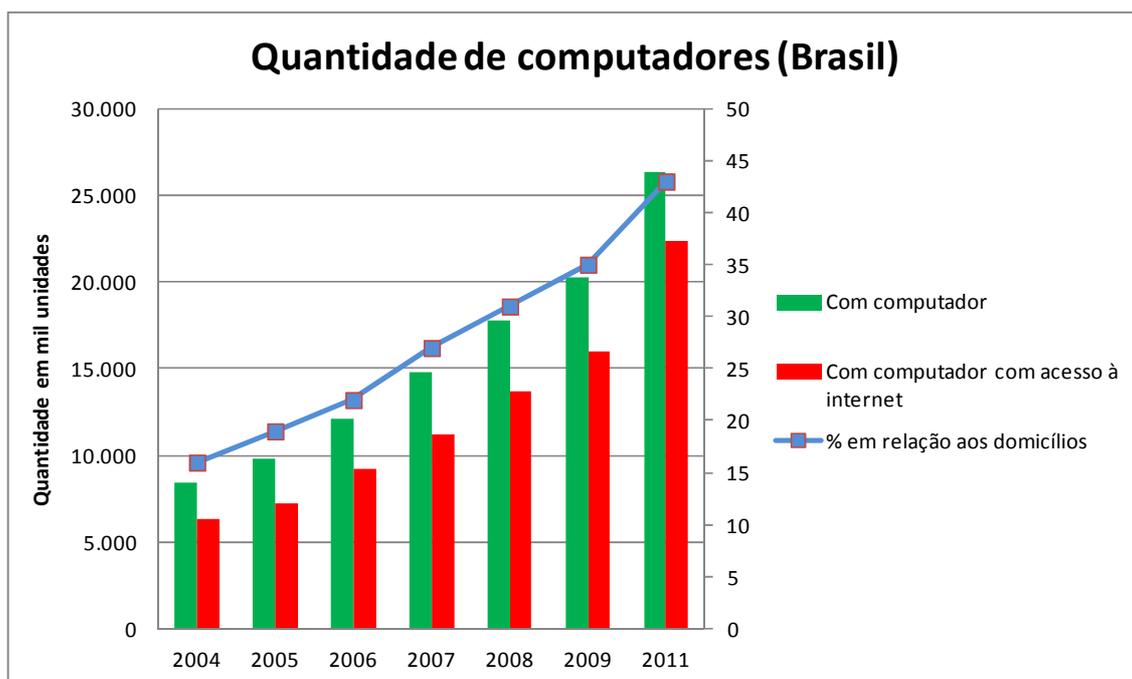


Figura 20: Quantidade de computadores no Brasil (adaptado ABINEE, 2013).

O crescimento na produção desses equipamentos gera, como consequência, um aumento na quantidade de lixo eletrônico gerado no mundo. A Tabela 10 apresenta a quantidade de lixo eletrônico gerado apenas no ano de 2012 para alguns países.

Tabela 10: Quantidade de lixo eletrônico gerado em alguns países no ano de 2012 (HUISMAN, 2010 e STEP, 2013).

Assunto	Unidade	Brasil Quantidade	Argentina Quantidade	Estados Unidos Quantidade	Alemanha Quantidade
População	Habitantes (em milhões)	196,53	41,03	314,31	81,78
Poder de Compra	USD por habitante	12.038,46	18.205,09	49.802,15	39.058,79
EEE colocados no mercado	Kg por habitante	10,53	15,21	31,71	27,51
	Total em Quilotoneladas	2.069,09	624,21	9.965,66	2.249,76
Lixo eletrônico gerado	Kg por habitante	7,06	10,71	29,78	23,23
	Total em Quilotoneladas	1.387,85	439,53	9.359,78	1.899,64

Apesar da diferença na produção do lixo eletrônico entre os países em desenvolvimento (Brasil e Argentina) e os países desenvolvidos (Estados Unidos e Alemanha), pode-se perceber que a produção de lixo eletrônico no ano de 2012 é preocupante, quando se analisa a destinação que esses equipamentos recebem após o seu uso.

Segundo dados da STEP (2013), analisando dados anuais de 184 países, tem-se que cerca de 48,9 milhões de toneladas de produtos elétricos e eletrônicos

foram produzidos em 2012, uma média de 7kg para cada habitante da Terra. E esta produção está crescendo. Com base nas tendências atuais os especialistas prevêem que em 2017 , o volume total anual vai aumentar em 33%, ou seja, cerca de 65,4 milhões de toneladas de lixo eletrônico serão produzidas mundialmente (STEP, 2013).

2.8 Técnicas de Recuperação dos Produtos Eletrônicos

O lixo eletrônico constitui um problema de larga escala devido sua grande produção, somado ao fato de que sua destinação, após o uso, traz graves consequências, tanto para o meio ambiente, quanto para a saúde do ser humano. Nas duas últimas décadas, a maioria dos componentes eletrônicos, em FDV, foi exportada para países em desenvolvimento (ROMAN; PUCKETT, 2002), mandados para aterros e incineradores (APPELBAUM, 2002), ou ainda depositados de maneira indevida no meio ambiente, os quais se englobam os mares e o solo. Hicks et al. (2005) afirmam que cerca de 80% do lixo eletrônico dos países desenvolvidos é enviado para os países em desenvolvimento causando um impacto ambiental e social significativo nesses países, agravados devido as limitações em suas legislações.

Cabe destacar que esta prática não é utilizada apenas para o lixo eletrônico, podendo encontrar diversos resíduos que também são enviados para países em desenvolvimento como pneus, lixo hospitalar, automóveis, entre outros.

A China, um dos países que recebem o lixo eletrônico, acaba agravando este problema devido a sua produção interna. Hicks *et al.* (2005) calculam que cerca de 5 milhões de unidades são produzidas por ano no país. Além de se buscar destinar adequadamente toda a sua cadeia produtiva, o país ainda importa lixo eletrônico, formando um sistema de degradação prejudicial para o meio ambiente.

Bushehri (2010) aponta que nos Estados Unidos foram classificados como obsoletos cerca de 500 milhões de computadores e televisores entre os anos de 1997 e 2007 e que no Japão esse número foi de 610 milhões de equipamentos entre 1997 e 2010.

Kiddee et al. (2013) afirmam que o lixo eletrônico é um dos problemas de poluição que mais crescem no mundo, e este fato está sendo acelerado devido as novas tecnologias, novos designs, problemas de compatibilidade e as estratégias de marketing que reduziram a vida útil desses equipamentos, tal que, segundo Widmer et al. (2005), a vida média desses equipamentos diminuiu de 4,5 anos em 1992 para cerca de 2 anos em 2005, o que aumenta o número de equipamentos obsoletos por ano.

A seguir serão abordadas as práticas mais utilizadas atualmente para a eliminação final dos produtos eletrônicos em FDV, apontando algumas características e impactos de cada uma delas.

2.8.1 Reciclagem Local

A reciclagem dos produtos eletrônicos é a principal forma de se reduzir o grande impacto que eles provocam no meio ambiente, assim como no meio social devido aos fluxos ilegais de exportação desses produtos. Segundo Ladou; Lovegrove (2008) a reciclagem pode recuperar pelo menos 95% dos materiais úteis de um microcomputador e cerca de 45% de materiais de monitores de tubo cônico. A reciclagem desses equipamentos envolve a desmontagem e destruição do equipamento para a recuperação dos novos materiais (CUI; ZHANG, 2008).

Após a entrada desses produtos na planta de reciclagem, a primeira etapa consiste na separação desses materiais, de maneira manual ou automatizada, entretanto, devido à grande diversidade desses produtos a mais utilizada atualmente é a manual (WILLIAMS, 2006). Essa desmontagem melhora o valor dos materiais recuperados, uma vez que removem contaminantes e acabam separando grandes quantidades de materiais inteiros para classificá-los inicialmente, facilitando seu percurso durante as demais etapas da reciclagem (BOOM; STEFFEN, 2001).

Vários sistemas estão sendo desenvolvidos ao redor do mundo visando facilitar o processo de retorno do lixo eletrônico, assim como leis que visam contribuir com sua destinação adequada. Nesse sentido, o Japão se destaca, uma vez que sua preocupação com a responsabilidade da produção do lixo eletrônico começou entre o final da década de 1990 e o começo da década de 2000 com

a introdução de leis para o retorno desses materiais. A Figura 21 mostra um fluxograma do processo de retorno dos produtos eletrônicos no Japão (CHUNG; MURAKAMI-SUZUKI, 2008).

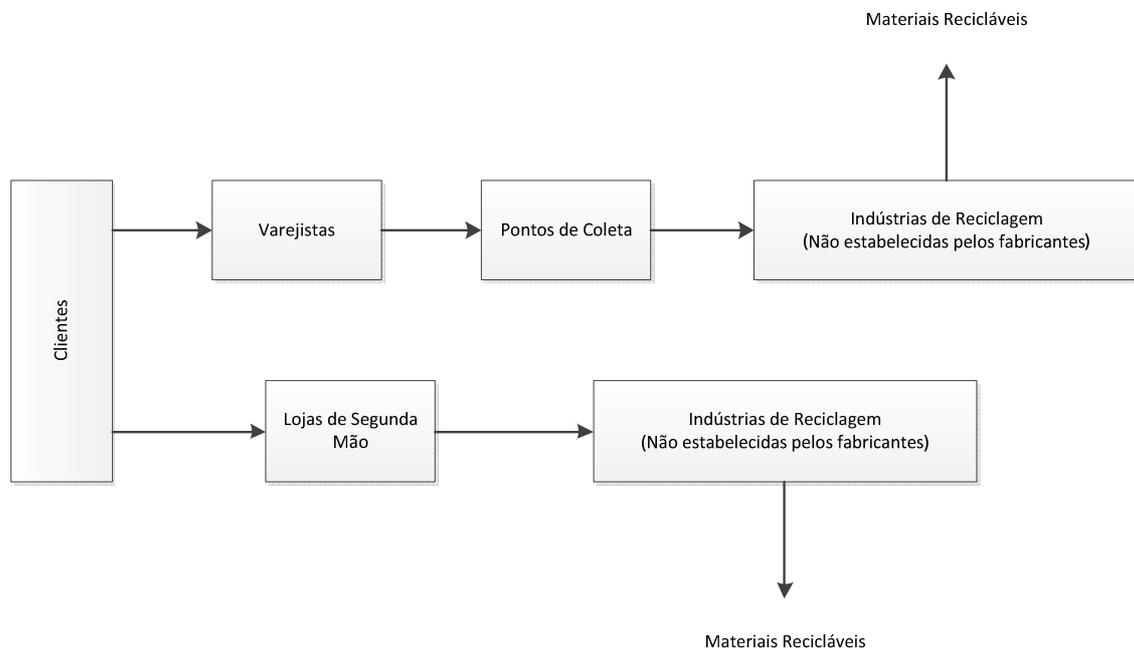


Figura 21: Sistema de refluxo de materiais no Japão (adaptado CHUNG; MURAKAMI-SUZUKI, 2008).

Segundo Kahhat et al. (2008), os consumidores pagam taxas que visam cobrir a reciclagem dos produtos eletrônicos em FDV, além de um adicional, na forma de taxa, para cobrir o transporte do produto para locais de recolhimento designados. Além disso, o sistema obriga os varejistas a coletar e transferir os produtos descartados pelos consumidores. Segundo Yoshida et al. (2007), as atualizações nas legislações durante a década de 2000, embutiu taxas nos preços desses equipamentos visando atribuir responsabilidades aos produtores e vendedores dos mesmos com sua reciclagem, incluindo os computadores voltados ao mercado profissional.

Observa-se a simplicidade do processo de recuperação dos produtos eletrônicos no Japão, dos quais se destaca o processo de revenda desses produtos antes do processo de reciclagem, otimizando a vida útil dos mesmos. Outro ponto a ser destacado é o fato de não haver a disposição final como alternativa do processo, mostrando a busca de um sistema “do berço ao berço” dos produtos, onde todos os constituintes dos produtos eletrônicos possam vir a serem reaproveitados no futuro.

A Europa deu um grande passo em relação ao reaproveitamento do lixo eletrônico com a atualização da Diretiva em 2003, a qual resultou em um esforço por parte de seus membros de adotar uma série de regras, relacionadas com a população, visando "preservar, proteger e melhorar a qualidade do meio ambiente, proteger a saúde humana e utilizar os recursos naturais de forma prudente e racional" (EUROPEAN COMMISSION-WEEE DIRECTIVE, 2003).

A diretiva classificou essa questão em cinco categorias: 1 – o design dos produtos eletrônicos; 2 – a coleta do lixo eletrônico; 3 – a recuperação do lixo eletrônico; 4 – o tratamento do lixo eletrônico, assim como seu financiamento; e 5 – a conscientização dos usuários desses equipamentos. Essa atualização teve como propósito aumentar a conscientização a respeito da importância em se reaproveitar esses elementos em seu FDV, incluindo as etapas de recuperação, reciclagem e reutilização do lixo eletrônico. Além disso, de acordo com o tipo de lixo eletrônico, os produtores devem cumprir com as taxas mínimas de recuperação (70-80% em peso) e taxas (50-80% em peso) na reutilização e reciclagem desses componentes, materiais e substâncias.

O processo de reciclagem traz grandes ganhos ambientais quando executado da maneira eficiente e dentro das normas, tal que nos países ricos, como o Japão, as operações de reciclagem de alta tecnologia funcionam bem, causando pouco impacto ambiental (AIZAWA et al., 2008). Segundo Barba-Gutierrez et al. (2008) quaisquer impactos ecológicos oriundos da reciclagem são compensados quando se analisa os efeitos ambientais negativos oriundos da queima de combustíveis fósseis no transporte desses resíduos por longas distâncias para serem depositados em aterros. Portanto, a reciclagem sempre tem um menor impacto ecológico do que o aterro de resíduos eletrônicos ou o processo de incineração dos mesmos (HISCHIER et al., 2005).

2.8.2 Exportação dos produtos para países em desenvolvimento

O próprio processo de reciclagem, devido aos produtos químicos e resíduos, coloca a saúde e a segurança dos trabalhadores em risco, além de colocar em risco também a saúde das comunidades locais e ao redor, e é potencialmente prejudicial para os sistemas ambientais (GREENPEACE, 2005). Portanto, a prática da reciclagem informal que ocorre devido as exportações para os

países em desenvolvimento agrava consideravelmente esses impactos, transformando o FDV dos produtos eletrônicos em um problema ambiental e social de escala mundial.

Grandes quantidades de lixo eletrônico estão sendo movidas ao redor do mundo para reciclagem em países em desenvolvimento que utilizam processos manuais em quintais de propriedades residenciais, resultando em contaminação significativa do solo, água e ar nesses países. Tais práticas resultam no envenenamento de muitas pessoas envolvidas com este processo de reciclagem informal (KIDDEE et al., 2013).

A Basel Action Network (BAN) e a Silicon Valley Toxics Coalition (SVTC), duas organizações não-governamentais (ONGs), estimam que até 80% do lixo eletrônico dos EUA, inicialmente recolhidos para fins de reciclagem, está sendo exportado para países em desenvolvimento para procedimentos de reciclagem informais (BAN; SVTC, 2002).

Segundo Leung et al. (2010) em alguns locais, em que este tipo de atividade é aplicado, são encontrados diversos poluentes presentes nos recursos naturais, como água, solo e ar o que resulta em contaminação de todo o ecossistema ao entorno desses locais. Essa contaminação se espalha por meio do ciclo natural, chega a diversas áreas em todo o mundo, impactando diretamente a população ao entorno desses locais e indiretamente as populações de todo o mundo.

Atualmente, a China recebe a maior parte do lixo eletrônico exportado de todo o mundo, utilizando como método de reciclagem para abastecer seu mercado de produtos eletrônicos o fenômeno do quintal, ou a chamada reciclagem informal. Na reciclagem informal, o lixo eletrônico é desmontado manualmente utilizando métodos arcaicos para a obtenção dos materiais valiosos (KAHHAT et al., 2008). Para confirmar isso, estudos recentes foram realizados em Guiyu, província de Guangdong, o centro mais conhecido de demolição do lixo eletrônico na China.

Os estudos mostram uma importante ligação entre as atividades de reciclagem informais e vários outros parâmetros: 1 – a contaminação das fontes de água doce e sedimentos, tal que Wong et al. (2007) relataram a presença de

diversos metais pesados dissolvidos com nível acima do aceitável nos rios dentro de Guiyu, quando comparados com outros rios ao seu redor, principalmente devido aos processos de lixiviação ácida; 2 – a contaminação do ar e solos, tal que há uma grave contaminação a partir de compostos clorados e bromados, além dos metais pesados, em torno dos locais de reciclagem do lixo eletrônico, sendo que esses valores podem ser 33 vezes maiores que em outros locais na Ásia, como os níveis encontrados para os elementos Cr, Zn e Cu, causada principalmente por locais de queima a céu aberto (DENG et al., 2006); e 3 – os impactos na saúde humana, tais como altos níveis de chumbo no sangue encontrados em crianças na região (HUO et al., 2007).

Wang; Guo (2006), apresentam resultados mais alarmantes ainda apontando que as concentrações de Pb presentes nas águas superficiais a jusante da indústria de reciclagem em Guiyu é tão elevada que chega a ser oito vezes maior do que o padrão de água potável aceito na legislação chinesa.

Entretanto, este impacto não atinge apenas o meio ambiente, segundo Duan et al. (2009) milhares de pessoas estão diretamente envolvidas na reciclagem dos produtos eletrônicos no país, seja de maneira formal ou informal, sendo apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Estimativa da geração de emprego a partir da indústria chinesa de reciclagem de lixo eletrônico (adaptado DUAN et al., 2009).

Estágios	Número de trabalhadores por setor		
	Formais	Informais	Total
Coleta	–	440.000	440.000
Desmontagem	400	125.000	125.400
Recuperação de material	15.000	125.000	140.000
Disposição final	600	–	600
Total	16.000	690.000	706.000

Observa-se uma grande quantidade de trabalhadores envolvidos com a indústria de reciclagem na China, entretanto a maioria está relacionada com atividades informais de reciclagem, o que ocasiona um impacto social direto, além dos impactos indiretos oriundos dessas atividades.

Embora a China esteja tentando impedir este comércio, desenvolvendo leis que visam dificultar e proibir a importação de lixo eletrônico no país, as mesmas não estão funcionando conforme previsto, devido aos mercados ilegais de

importação presentes no país (LIU et al., 2006). Por outro lado, a Índia apresenta um comércio crescente de lixo eletrônico com estaleiros de reciclagem de lixo eletrônico situados em Bangalore, Chennai, Delhi e Mumbai (BAN, SVTC, 2002; KELLER, 2006).

A grande questão é como fazer com que esses produtos obsoletos não saiam de seus países de origem, pois o bloqueio desse comércio com a China não diminuirá esse transporte, uma vez que outras economias surgem buscando substituir a China como receptora desses materiais.

Kahhat et al. (2008) aponta que o fluxo de exportação dos países desenvolvidos para os em desenvolvimento vem aumentando anualmente. Uma das principais razões é que ambos os lados recebem “vantagens econômicas” com esta reciclagem informal. Especificamente, as nações desenvolvidas se beneficiam dos baixos custos trabalhistas nesses países, enquanto que o fluxo desses materiais importados pode oferecer oportunidades de negócios e satisfazer a demanda por produtos eletrônicos de segunda mão nos países em desenvolvimento (WIDMER et al., 2005).

2.8.3 Incineradores

O processo de incineração dos equipamentos eletrônicos pode trazer graves consequências para a saúde humana e para o meio ambiente devido ao seu elevado risco, uma vez que a combustão em um incinerador pode emitir gases tóxicos para a atmosfera (KIDDEE et al., 2013).

Portanto, o processo de incineração desses produtos geram diversas preocupações tanto em termos econômicos, quanto ecológicos, tal que os elementos perigosos que podem estar presentes nesses materiais, tais como metais pesados e poluentes orgânicos, podem ser libertados durante o processo de incineração ou ainda estarem concentrados em suas cinzas e, em seguida, serem dispersos por outros meios (NNOROM; OSIBANJO, 2008).

A preocupação com as consequências da incineração fizeram com que a Diretiva Européia (2003) criasse uma série de regras atribuindo responsabilidades e metas de reciclagem dos produtos eletrônicos visando

evitar que os mesmos fossem encaminhados para o processo de incineração, seja de maneira formal ou informal.

Mesmo os países desenvolvidos tem dificuldades em desenvolver processos de incineração dos produtos eletrônicos sem causar agressões ao meio ambiente, tal que Incineradores municipais são algumas das maiores fontes pontuais contaminação de dioxinas nos EUA e Canadá, sendo apontados como fontes de contaminação da atmosfera por metais pesados. O Cobre, comum no lixo eletrônico, é um catalisador para a formação dessas dioxinas, tal que isto é de particular interesse na incineração de retardadores de chama bromados e PVC, pois tornam mais provável a formação de elementos tóxicos. Uma alternativa buscada por alguns produtores foi enviar seu lixo eletrônico para fornos de cimento para uso como uma alternativa ao combustível, mas os fornos de cimento apresentam praticamente os mesmos problemas dos incineradores tradicionais (BAN; SVTC, 2002).

A incineração de lixo eletrônico pode emitir fuligens e gases tóxicos, poluindo o ar circundante local de maneira direta, o que resulta na exportação por parte dos países desenvolvidos, de grandes remessas de lixo eletrônico na forma de computadores de segunda mão, para os países emergentes para reduzir o fosso digital, portanto essa exportação de resíduos perigosos para países em desenvolvimento da Ásia e África, onde não existem normas ambientais e de segurança rigorosas, as quais praticam a incineração desses materiais a céu aberto, acaba agravando a contaminação ambiental a partir dos resíduos eletrônicos (MAHESHWARI et al., 2013).

A prática da incineração desses materiais não deve ser utilizada sem meios adequados de se controlar os gases poluentes que saem desses locais, tanto visando a manutenção da saúde da população ao entorno como o ecossistema em que o mesmo está inserido. Cabe destacar ainda que esta prática pode gerar pesadas consequências econômicas com multas e indenizações.

2.8.4 Disposição em aterros

A disposição final dos produtos eletrônicos em aterros acarreta em vários impactos, inclusive financeiros, uma vez que muito valor agregado aos produtos são perdidos com esta prática. Outro fator importante a se destacar é

o fato do processo natural de lixiviação transportar as substâncias tóxicas pelo solo (KIDDEE et al., 2013), chegando aos lençóis freáticos, se espalhando para todo o ecossistema e atingindo proporções irreversíveis em termos de descontaminação de mananciais e outros meios aquosos.

De acordo com Kasassi et al., (2008), os poluentes têm o potencial de migrar através dos solos para as águas subterrâneas por meio da formação do chorume, dentro e ao entorno de aterros, contaminando o material orgânico desses ambientes. Esse chorume pode conter elevadas concentrações de substâncias orgânicas dissolvidas e suspensas, compostos inorgânicos, metais pesados e outros contaminantes que variam de acordo com a composição do lixo presente no aterro.

Há evidências suficientes para demonstrar que os aterros que recebem resíduos eletrônicos ou aterros antigos contendo este tipo de material acabam causando a contaminação das águas subterrâneas (SCHMIDT, 2005).

Quando descartado em um aterro sanitário, o lixo eletrônico se torna um conglomerado de plástico e embalagens de aço, placas de circuito, tubos de vidro, fios, resistores, capacitores, além de outras peças variadas ou materiais causando tal impacto no meio ambiente que pode ser observado quando se analisa a concentração dos metais pesados no chorume desses locais, pois cerca de 70% desses metais (incluindo mercúrio e cádmio) encontrados nos aterros sanitários vêm de descartes eletrônicos EPA (2001). A disposição final dos resíduos eletrônicos armazena potenciais impactantes que, com o tempo, provavelmente acabarão sendo lixiviados para os solos ao entorno desses locais, transformando uma possibilidade de ganho econômico em um problema ambiental.

2.9 Classificação dos Resíduos Sólidos e dos Aterros Industriais

Apesar da disposição em aterros parecer uma prática simples, ou seja, apenas se tem o trabalho de transportar o resíduo a ser descartado até estes locais, os mesmos devem ser catalogados e fiscalizados perante a legislação vigente no país. Além disso, é necessário caracterizar o resíduo a ser descartado, para que o mesmo seja enviado para o aterro ideal para a sua disposição final.

No Brasil, a ABNT, por meio da NBR 10004:2004, regula e caracteriza os aterros ambientais, assim como apresenta as características que são necessárias para se classificar os resíduos industriais.

A classificação de resíduos sólidos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e características, e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido. A segregação dos resíduos na fonte geradora e a identificação da sua origem são partes integrantes dos laudos de classificação, onde a descrição de matérias-primas, de insumos e do processo no qual o resíduo foi gerado devem ser explicitados. A identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem (NBR 10004, 2004).

A Figura 22 ilustra a classificação dos resíduos sólidos quanto ao risco à saúde pública e ao meio ambiente. Os resíduos sólidos são classificados em dois grupos - perigosos e não perigosos, sendo ainda este último grupo subdividido em não inerte e inerte.

A partir da análise da Figura 22, tem-se que no Brasil os resíduos sólidos urbanos, sejam de origem industrial, agrícola, residencial, entre outras, podem ser classificados em três tipos de aterros (NBR 10004, 2004):

- Resíduos Classe I – Perigosos: São resíduos que podem apresentar sérios riscos a saúde humana, pois possuem propriedades como a periculosidade, conforme especificado na norma, ou uma das seguintes características: Inflamabilidade; Corrosividade; Reatividade; Toxicidade; e Patogenicidade;
 - Resíduos Classe II A – Não Inertes: São resíduos que não apresentam graves riscos a saúde da população, possuem características como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água, e não se enquadram na Classe I;
- Resíduos Classe II B – Inertes: Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água

destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

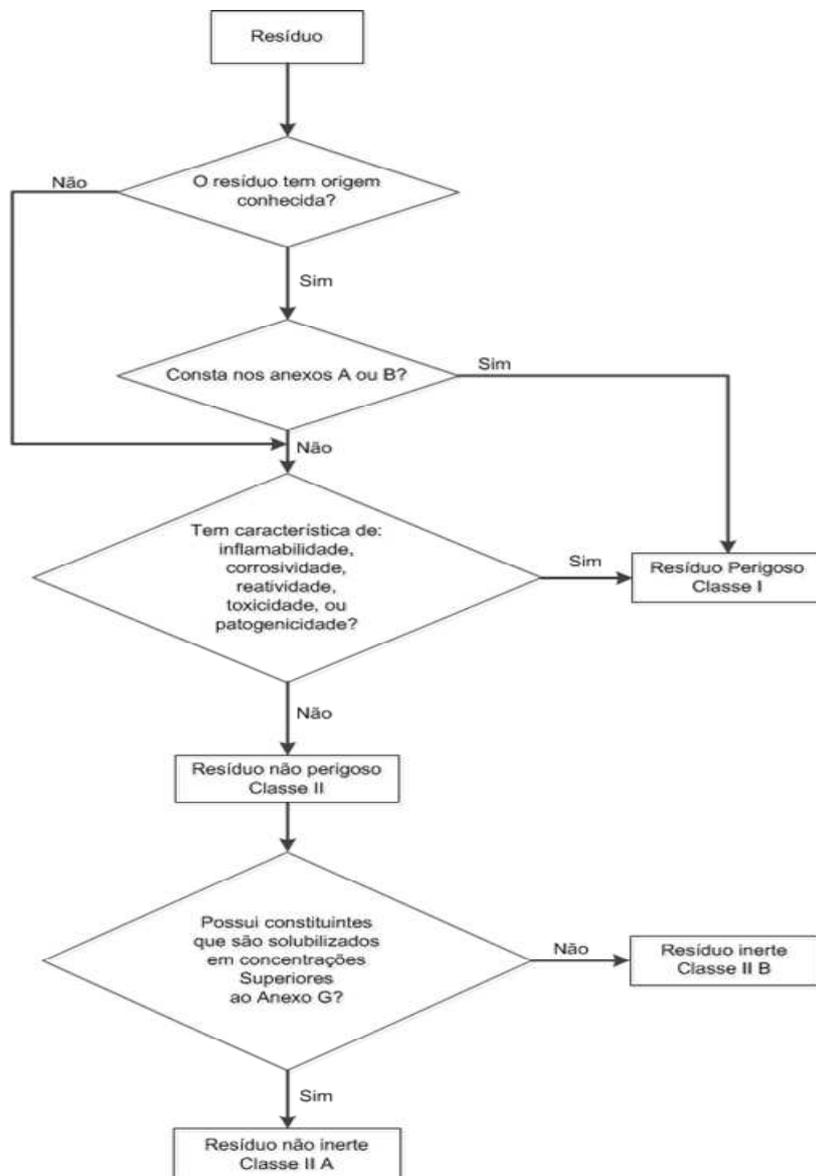


Figura 22: Caracterização e classificação dos Resíduos Sólidos (NBR 10004, 2004).

2.10 Considerações Finais do Capítulo

A ACV é uma importante ferramenta no segmento de produção dos produtos eletrônicos, fato evidenciado quando se compara a evolução na produção dos computadores com o passar dos anos e a capacidade de demanda de mercado, impulsionado pelas constantes inovações que vem encantando os consumidores de computadores pessoais portáteis, suas funcionalidades, a variação no preço, a facilidade na aquisição, entre outras características.

Como resultado tem-se a intensificação das legislações ambientais que buscam aplicar os conceitos discutidos durante a linha do tempo da gestão ambiental, direcionando as empresas a buscarem a P+L e o desenvolvimento sustentável em suas práticas, o que influencia também na mudança na consciência e cultura dos “stakeholders”, uma vez que a constante inovação deste mercado aliada ao marketing verde atrai a atenção dos consumidores.

Comercialmente, a busca por parcerias empresariais para a complementação dos processos produtivos por parte dos empresários se faz necessária, seguindo o conceito do TBL, uma vez que a Manufatura Reversa necessita de mais de uma destinação para as matérias primas secundárias oriundas deste processo.

Assim, é necessária a busca de um sistema que venha a remediar e antecipar os impactos ambientais oriundos desse crescimento, sendo essencial se atentar para as práticas utilizadas para o descarte desses tipos de equipamentos. Sabe-se que a melhor prática atualmente para o correto descarte desses equipamentos é a reciclagem e reutilização dos mesmos, seja como novos equipamentos com as mesmas funcionalidades ou como partes de outros componentes.

Portanto, buscou-se conhecer as ferramentas existentes na engenharia de produção que possam contribuir com a montagem de uma empresa de reciclagem de produtos eletrônicos no Brasil, destacando suas características e aplicabilidade com o objetivo de apresentar uma análise dessa cadeia de manufatura reversa em relação aos aspectos ambientais, aliados aos outros dois pilares do TBL que formam a base do desenvolvimento sustentável. Cabe destacar ainda, que este trabalho teve um enfoque em relação à viabilidade de aplicação desta cadeia no país, com o objetivo de mostrar se práticas sustentáveis podem trazer lucro para as corporações no Brasil.

3 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Este trabalho buscou abordar uma situação complexa para ser compreendida de forma isolada, devido à complexidade da realidade dos diversos fenômenos que a compõe. A seguir será feito um detalhamento das etapas desenvolvidas para a realização deste trabalho.

Foi utilizada a abordagem qualitativa que, de acordo com Godoy (1995), possui algumas características básicas como: o ambiente natural como sua fonte direta de dados; e o pesquisador como principal instrumento para a sua coleta. A abordagem qualitativa é bastante recomendada quando se trata de uma pesquisa com cunho exploratório.

Segundo Flick (2004), ela permite abordar um ambiente menos explorado, com a característica de não se contentar em testar o que já é conhecido, mas descobrir novas abordagens que geram múltiplas fontes de evidências, além de destacar a importância da realidade organizacional.

Miguel et al. (2012) classifica a pesquisa qualitativa apontando que ela tem como foco os processos do objeto em estudo, tal que as interpretações individuais formam um mosaico organizacional que o pesquisador precisa capturar para entender a complexidade pesquisada com atenção, pois ao mesmo tempo em que as evidências se complementam, elas também se divergem, o que se torna imprescindível para validar ou não sua hipótese.

Em relação aos objetivos, a presente pesquisa se caracteriza como exploratória descritiva. De acordo com Lakatos; Marconi (2002) consiste em uma pesquisa que tem por objetivo descrever um determinado fenômeno, se baseando em descrições quantitativas ou qualitativas, com observação participativa, sendo flexível quanto aos procedimentos de amostragem de modo a considerar os mais variados aspectos relativos ao fato estudado.

O método adotado neste trabalho foi de investigação por meio de um Estudo de Caso definido por Berto; Nakano (2000) como “uma análise profunda de um ou mais objetos (casos), com o uso de múltiplos instrumentos de coleta de dados e a presença da interação entre o pesquisador e o objeto de pesquisa”. Para Yin (2001) o estudo de caso se caracteriza ainda pelo fato de investigar

um fenômeno atual no contexto da vida real, geralmente considerando que as fronteiras entre o fenômeno e o contexto em que ele se insere não são claramente definidas.

O procedimento técnico geral utilizado procurou alinhar as referências bibliográficas com a execução prática do tema em questão, buscando compreender as dificuldades de se aplicar a teoria na realidade brasileira de produção e reciclagem dos produtos eletrônicos, utilizando o microcomputador como estudo de caso.

A técnica de coleta dos dados seguiu algumas etapas:

- Foi realizado um levantamento bibliográfico a respeito do tema em questão, visando compreender o que a comunidade científica discute a respeito do tema;
- Foi desenvolvido um trabalho em parceria com uma empresa nacional de grande porte do segmento de produção dos produtos eletrônicos portáteis e computadores pessoais, visando compreender todo o processo de manufatura dos mesmos, assim como a entrada de matérias primas, as perdas na linha de manufatura, os impactos ambientais associados, as ações para a coleta desses materiais em FDV e o processo de Manufatura Reversa dos mesmos;
- Foi desenvolvido um trabalho em parceria com uma empresa nacional de grande porte do segmento de recuperação dos produtos elétricos e eletrônicos, de uma maneira geral, buscando compreender toda a cadeia do pós consumo desses materiais, assim como o fluxograma necessário para sua execução, as dificuldades na implantação de uma planta para a Manufatura Reversa desses materiais, a classificação dos diversos tipos de materiais presentes nesses produtos, a quantificação do que é reciclável em relação aos produtos eletrônicos portáteis e os computadores pessoais, o sistema de Logística Reversa utilizado pela empresa, assim como suas dificuldades de implantação e os impactos ambientais causados pelo processo de Manufatura Reversa.

- Foi realizada uma análise do inventário do ciclo de vida, utilizando a ferramenta da ACV, com a compilação dos dados, focando principalmente nos fluxos de materiais, ao longo da cadeia de pós consumo do estudo de caso;
- Foram feitas avaliações, por meio da ferramenta da ACV, a respeito dos impactos ambientais e sociais associados com as formas identificadas de uso dos recursos;
- Foi desenvolvido, por meio do indicador “*Payback*” que consiste no levantamento do capital de retorno do investimento em um determinado ramo industrial, uma estimativa em relação a viabilidade econômica da reciclagem dos produtos eletrônicos;
- Como resultado final deste trabalho, foi elaborado um fluxograma com as características inerentes ao processo de Manufatura Reversa dos produtos eletrônicos, desde o recebimento em uma planta de reciclagem, até seu destino final como matéria prima secundária.

Visando atingir a estrutura citada, o presente trabalho foi organizado como mostra a Figura 23, que apresenta o fluxograma básico referente à metodologia e a ordem de execução das atividades.

3.1 Pesquisa Bibliográfica

Foi feito um levantamento bibliográfico pela busca de artigos nacionais e internacionais visando consultar a diversidade de trabalhos existentes e disponíveis sobre o tema abordado.

Inicialmente, com o intuito de dar uma sustentação ao objeto de estudo deste trabalho, foi realizado um levantamento da produção de computadores no Brasil e no Mundo, buscando representar a evolução da cadeia de produção desses equipamentos, assim como a produção de lixo eletrônico.

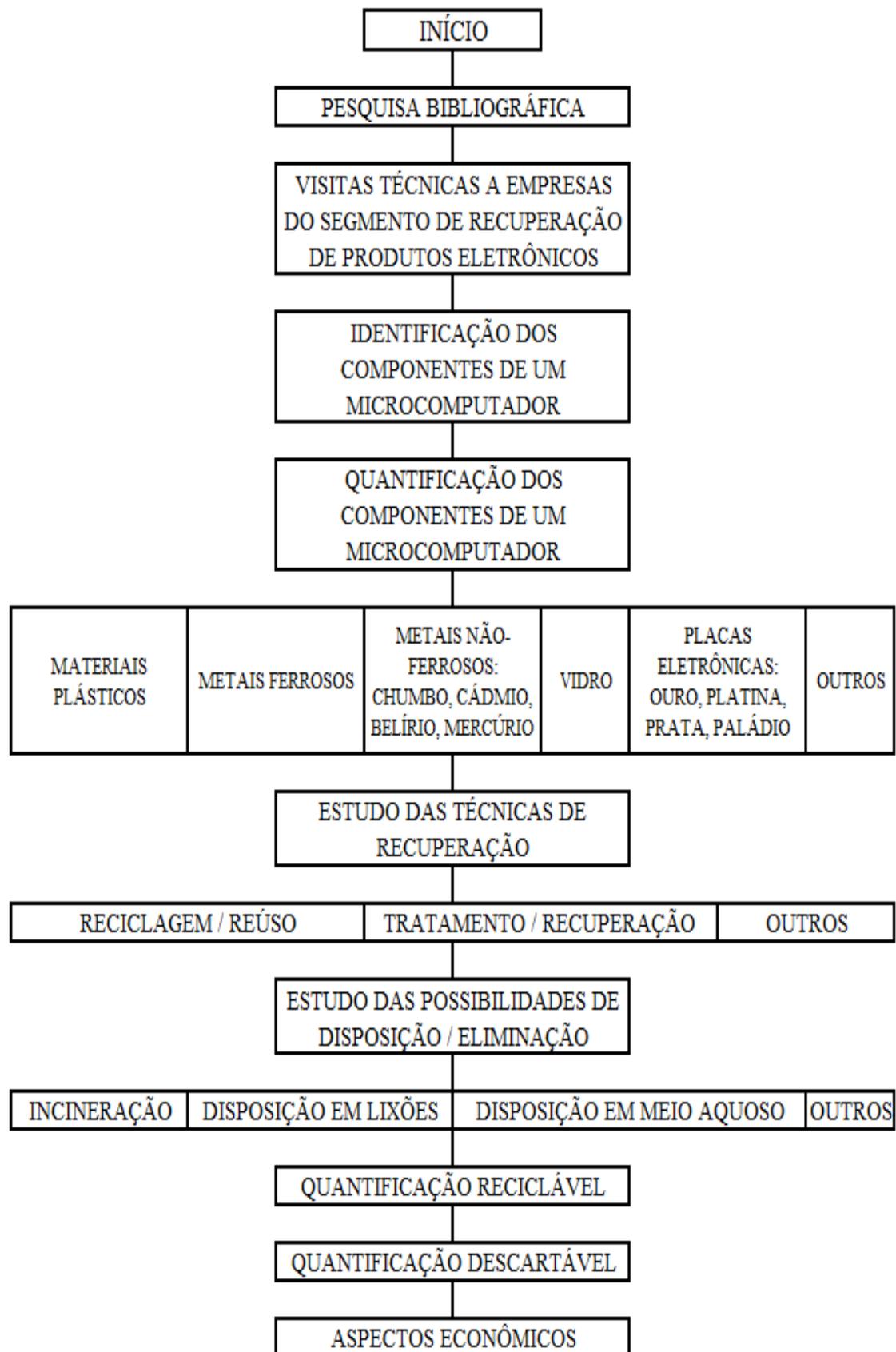


Figura 23: Fluxograma das etapas desenvolvidas no presente trabalho.

3.2 Visitas Técnicas a empresas do segmento de produção e recuperação de produtos eletrônicos

Foram realizadas visitas técnicas a uma empresa nacional de grande porte do segmento de manufatura de computadores portáteis e computadores pessoais, assim como foram realizadas visitas técnicas a uma empresa nacional de grande porte do segmento de recuperação e Manufatura Reversa desses equipamentos.

Tais visitas tiveram como objetivo conhecer o sistema de produção e recuperação desses materiais, assim como coletar informações a respeito da composição desses equipamentos a fim de confrontá-los em laboratório.

3.3 Identificação e quantificação dos componentes de um microcomputador

Foram feitos estudos experimentais por meio de um levantamento de dados experimentais, por intermédio da desmontagem dos modelos estudados, no sentido de identificar e quantificar os diversos materiais utilizados na fabricação, assim como identificar suas características e funções, comparando-os com dados coletados de empresas de produção e reciclagem desses equipamentos, com o objetivo de fortalecer a cadeia de pós-consumo, assim como o estudo de viabilidade, apresentados neste trabalho.

Foram caracterizados os tipos de materiais presentes no computador, buscando quantificar sua composição e avaliar as possibilidades de reciclagem de cada tipo de material, através da demanda de mercado.

3.4 Estudo das técnicas de recuperação

As técnicas adequadas para a separação, recuperação e reciclagem desses materiais foram estudadas e analisadas com o intuito de se entender sua importância para o processo da ACV, e seus benefícios para o desenvolvimento sustentável.

3.4.1 Reciclagem e Reuso

Foi realizado um levantamento a respeito da importância da reciclagem desses materiais em relação aos aspectos ambientais e econômicos, assim como seu grau de dificuldade e formas alternativas de coleta desses materiais.

3.4.2 Tratamento e Recuperação

Levantamento bibliográfico dos mecanismos utilizados para o tratamento e recuperação desses materiais, ressaltando sua importância ambiental e econômica.

3.4.3 Outros

Levantamento de outros meios de se reaproveitar os resíduos eletrônicos que não se encaixem nos dois tópicos anteriores.

3.5 Estudo das possibilidades de disposição / eliminação

Levantamento bibliográfico das formas utilizadas de disposição final desses resíduos, e também possibilidades de eliminação total desses resíduos. Foi estudada a importância da destinação final adequada, assim como as consequências da destinação final inadequada desses resíduos, tanto em termos ambientais como sociais e econômicos.

3.5.1 Incineração

Análises a respeito das consequências e irregularidades desse tipo de eliminação em relação aos materiais eletrônicos, fazendo um levantamento dos impactos ambientais e na saúde humana deste tipo de ação.

3.5.2 Disposição em aterros

Foram estudadas formas legais de disposição final desses resíduos, levantando aspectos importantes a serem analisados antes da destinação final desses materiais na natureza, assim como os problemas causados pelo não cumprimento dessas regras.

3.5.3 *Disposição no meio ambiente*

Levantamento dos impactos causados ao meio ambiente e a saúde humana das consequências do processo de eliminação dos componentes eletrônicos, além de buscar uma possível alternativa para a conscientização sobre a gravidade deste tipo de disposição final em áreas de grande concentração desse material.

3.5.4 *Outros*

Levantamento de outros meios de disposição final desse tipo de resíduo.

3.6 Quantificação reciclável e descartável

Levantamento quantitativo dos materiais recicláveis e descartáveis presentes em um computador, os meios necessários para se reciclar esses materiais e retorná-los ao processo produtivo, além dos aspectos necessários a serem estudados para seu descarte adequado no meio ambiente.

3.7 Aspectos Econômicos

Foram desenvolvidos estudos por intermédio do indicador “*Payback*”, buscando discutir a viabilidade de se implantar uma empresa para a reciclagem de produtos eletrônicos no Brasil.

4 RESULTADOS

Serão apresentados a seguir os resultados do trabalho, seguindo o que foi proposto no objetivo. Como resultado inicial tem-se uma análise da manufatura dos computadores, de uma maneira geral, analisando os possíveis impactos desta cadeia no meio ambiente, assim como da cadeia de Manufatura Reversa.

Em seguida serão apresentados os resultados referentes à quantificação reciclável e não reciclável desses equipamentos, à viabilidade de implantação de uma planta de Manufatura Reversa no país e o fluxograma necessário para a sua execução.

4.1 Cadeia de Manufatura e Manufatura Reversa dos Computadores: Possíveis Impactos

O ciclo de produção do microcomputador traz algumas características peculiares inerentes a este sistema de produção, como a utilização de alguns metais preciosos, o que encarece o produto final.

Tal fato iniciou a preocupação, por parte da empresa estudada, na implantação de um sistema de LR e Manufatura Reversa, visando recuperar esse valor agregado ao produto, devolvendo para a corporação uma parte do investimento por unidade.

A Figura 24 apresenta um modelo simplificado do que é realizado por uma empresa nacional de grande porte do setor eletrônico em relação ao seu ciclo produtivo.

Cabe destacar que o processo de Manufatura Reversa foi iniciado pela empresa a partir de iniciativas da mesma na busca de um sistema de desenvolvimento voltado para a diminuição dos seus impactos ambientais, ao mesmo tempo em que busca antecipar às exigências legais oriundas da atualização da PNRS que obriga as produtoras de eletrônicos a receberem de volta seus equipamentos obsoletos, responsabilizando-a pelo seu descarte após o uso pelos consumidores finais.

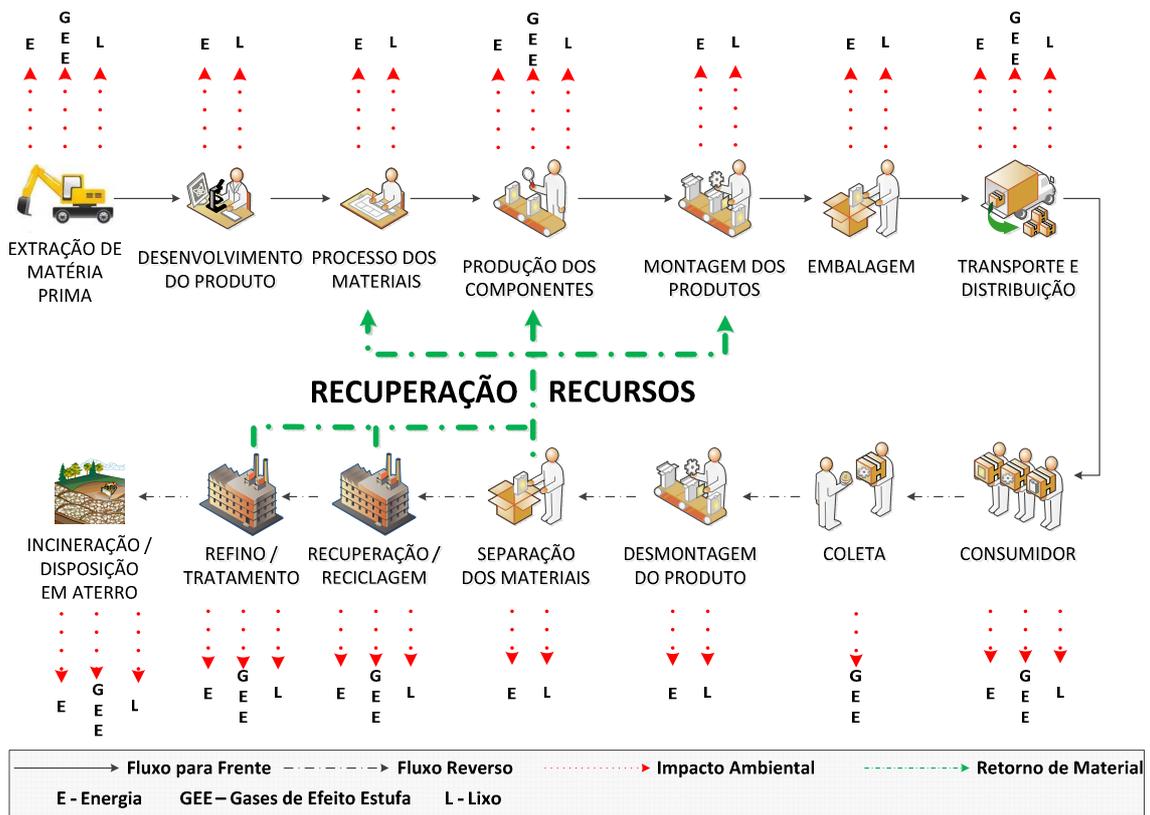


Figura 24: Fluxo dos computadores produzidos por uma empresa nacional de grande porte do setor eletrônico.

Podem-se observar a partir da Figura 24, os diversos impactos oriundos dos processos de produção e recuperação dos computadores. Todas as etapas possuem algum tipo de impacto ambiental, que pode ser mais danoso ou menos danoso, dependendo das condições de funcionamento das máquinas e equipamentos, uma vez que a calibração e a utilização de indicadores e filtros ajudam a diminuir os impactos ambientais.

Apesar de não ser o objetivo deste trabalho abordar em detalhe cada impacto oriundo deste sistema, mas sim seus efeitos ao meio ambiente e à saúde da população se faz necessária uma abordagem da ecoeficiência deste processo.

Sintetizando, a ecoeficiência é a criação de um valor econômico ambiental para a organização, por meio de iniciativas de melhoria contínua do processo de produção e a redução contínua dos insumos utilizados nesse sistema, assim como dos resíduos gerados pelo mesmo.

Portanto, a Figura 24 apresenta um meio de se retornar os resíduos gerados pelo processo de volta ao sistema de produção sejam para compor parte de novos equipamentos ou para a venda dessas matérias primas secundárias.

Este fato aumenta os resultados dos indicadores de ecoeficiência, tornando esse sistema de produção menos danoso ao meio ambiente, uma vez que se abre a possibilidade de recuperar os recursos e valores presentes no lixo eletrônico, resultando em ganhos sociais, se bem trabalhados, o que melhora a imagem da empresa perante a sociedade ao seu entorno e seus stakeholders de uma maneira geral.

Assim, a Tabela 12 e a Tabela 13 apresentam uma relação, de maneira geral, dos impactos oriundos de cada etapa de produção e recuperação dos equipamentos eletrônicos utilizados pela empresa, a partir do conceito do TBL e da ACV, destacando os problemas que podem ser minimizados com as práticas de reciclagem desses materiais.

Analisando os impactos a partir da cadeia de manufatura, consumo e Manufatura Reversa dos equipamentos eletrônicos, pode-se notar a quantidade de impactos potenciais oriundos deste sistema de produção. Assim, um entendimento das características deste processo se faz importante, uma vez que tal cadeia pode afetar de forma danosa tanto o meio ambiente como a saúde da população, levando em consideração que não foram considerados neste estudo os riscos de acidentes durante os processos, independente da natureza dos acidentes.

Os impactos econômicos estão ligados, principalmente, aos custos operacionais, uma vez que a empresa aqui estudada possui uma preocupação com os aspectos ambientais e os seus possíveis impactos. Deste modo, a empresa adota ações preventivas visando não obter problemas, ou reduzi-los, em relação a esses aspectos, assim como em relação à saúde e segurança no trabalho.

Em relação aos impactos sociais, cabe destacar os riscos relacionados a contaminação dos colaboradores, uma vez que, em se tratando de componentes eletrônicos, esses riscos acabam sendo elevados. Além disso, os demais riscos são inerentes dos processos de produção, de uma maneira geral.

Tabela 12: Impactos oriundos do processo de manufatura e consumo de um componente eletrônico seguindo as metodologias do TBL e da ACV.

Processo	Impactos Econômicos	Impactos Sociais	Impactos Ambientais
Processo de Manufatura dos Componentes Eletrônicos			
Extração de Matéria Prima	Elevado custo dos produtos e do transporte.	Condições de trabalho; ergonomia; contaminação; carga horária.	Consumo de energia; emissão de GEE; contaminação solo, ar e água com metais pesados e resíduos; geração de lixo.
Desenvolvimento do Produto	Custo no estudo da demanda de mercado; capacitação tecnológica.	Doenças por esforço repetitivo; exposição eletromagnética; ergonomia.	Consumo de energia; geração de lixo.
Processo dos Materiais	Custo operacional e possíveis erros de produção; desperdício de material.	Ergonomia; acidentes no trabalho; doenças por esforço repetitivo.	Consumo de energia; geração de lixo.
Produção dos Componentes	Custo operacional; possíveis erros de produção; desperdício de material.	Ergonomia; acidentes no trabalho; doenças por esforço repetitivo.	Consumo de energia; geração de lixo; emissão de GEE; contaminação do ar, solo e água.
Montagem dos Produtos	Custo operacional; possíveis erros de produção; desperdício de material.	Ergonomia; acidentes no trabalho; doenças por esforço repetitivo.	Consumo de energia; geração de lixo; contaminação solo e água.
Embalagem	Desperdício de material; custo operacional.	Ergonomia; acidentes no trabalho; doenças por esforço repetitivo.	Consumo de energia; geração de lixo.
Transporte / Distribuição	Custo no transporte e custo operacional.	Acidentes de trânsito; riscos à saúde; contaminação.	Consumo de combustível; emissão de GEE; contaminação do ar.
Processo de Consumo dos Equipamentos Eletrônicos			
Consumidor Primário	Aquisição do produto; custo energia elétrica.	Ergonomia; exposição eletromagnética.	Consumo de energia; emissão de GEE; geração de lixo.
Transporte	Custo transporte.	Acidentes de trânsito; riscos à saúde; contaminação.	Consumo de combustível; emissão de GEE; contaminação do ar.
Consumidor Secundário	Aquisição do produto; custo energia elétrica.	Ergonomia; exposição eletromagnética.	Consumo de energia; emissão de GEE; geração de lixo.
Manutenção / Reparos	Custo variável.	Ergonomia; acidentes no trabalho;	Consumo de energia; emissão de GEE; geração de lixo; contaminação solo e água.

Tabela 13: Impactos oriundos do processo de Manufatura Reversa de um componente eletrônico seguindo as metodologias do TBL e da ACV.

Processo	Impactos Econômicos	Impactos Sociais	Impactos Ambientais
Processo de Manufatura Reversa dos Equipamentos Eletrônicos			
Coleta	Custo LR, transporte e custo operacional.	Acidentes de trânsito; riscos à saúde; contaminação.	Consumo de combustível; emissão de GEE; contaminação do ar.
Desmontagem do Produto	Custo operacional; desperdício de material; acidentes no trabalho.	Ergonomia; acidentes no trabalho; doenças por esforço repetitivo; contaminação.	Consumo de energia; geração de lixo; contaminação solo e água.
Separação dos Materiais	Custo operacional; desperdício de material; acidentes no trabalho.	Ergonomia; acidentes no trabalho; doenças por esforço repetitivo; contaminação.	Consumo de energia; geração de lixo; contaminação solo e água.
Recuperação / Reciclagem	Custo operacional; desperdício de material; acidentes no trabalho.	Ergonomia; acidentes no trabalho; doenças por esforço repetitivo; contaminação.	Consumo de energia; geração de lixo; emissão de GEE; contaminação do ar, solo e água.
Refino / Tratamento	Custo operacional; desperdício de material; acidentes no trabalho.	Ergonomia; acidentes no trabalho; doenças por esforço repetitivo; contaminação.	Consumo de energia; geração de lixo; emissão de GEE; contaminação do ar, solo e água.
Incineração	Custo transporte; custo operacional; disposição final das cinzas.	Ergonomia; acidentes no trabalho; doenças por esforço repetitivo; contaminação.	Consumo de energia e recursos naturais; geração de lixo tóxico; emissão de GEE; contaminação do ar, solo e água.
Disposição em Aterros	Custo transporte; custo operacional; disposição final variável (Classificação dos resíduos).	Acidentes no trânsito; contaminação; ergonomia.	Consumo de combustível; geração de lixo tóxico; emissão de GEE; contaminação do ar, solo e água.

Já os riscos ambientais são, em sua maioria, preocupantes, pois as contaminações acabam sendo significativas quando se pensa na quantidade produzida desses materiais. Os riscos de contaminação do solo, ar e água são agravados pelo fato dessa contaminação não ficar apenas na esfera local, pois acabam sendo, de uma forma ou de outra, transportadas para outras regiões através dos ciclos biogeoquímicos.

4.2 Quantificação dos componentes que compõem um microcomputador

Conhecendo o processo de manufatura e Manufatura Reversa dos componentes eletrônicos, assim como os impactos oriundos desses processos, é importante buscar identificar a quantidade de material presente nesses equipamentos que é passível de reciclagem, uma vez que para o sucesso no descarte adequado desses materiais é necessário que os mesmos não tragam prejuízos para a empresa.

Assim sendo, a partir de estudos realizados em parceria com uma empresa nacional produtora de componentes eletrônicos e de uma empresa nacional recicladora desses materiais, assim como utilizando como fonte um estudo dos relatórios produtivos disponibilizados por uma empresa multinacional de grande porte e estudos realizados em laboratório, foram quantificados os modelos de computadores pessoais e portáteis, como apresentado nas Tabelas 14, 16, 18 e 20 (valores em massa) e nas Tabelas 15, 17, 19 e 21 (valores percentuais).

Nas Tabelas, a Empresa A representa a empresa brasileira produtora de computadores, as Empresas B e C representam a empresa brasileira recicladora desses equipamentos e a Empresa D representa os relatórios fornecidos por uma empresa estrangeira, produtora desses equipamentos, não localizada em território brasileiro e em seguida os estudos realizados em laboratório.

A Tabela 14 e a Tabela 15 apresentam os materiais que compõe um gabinete. Por gabinete, entende-se todo o CPU de um computador pessoal, incluindo os processadores, placas, carcaça, e os demais componentes.

Observa-se que a maioria dos componentes é passível de reciclagem, ou seja, já foram desenvolvidos meios de se reaproveitar esses materiais no processo de Manufatura Reversa desses equipamentos, independente se for para a venda como matéria prima secundária ou para seu reaproveitamento em novos produtos com as mesmas funções.

Tabela 14: Componentes dos Gabinetes, em Kg.

Item	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Laboratório 1	Laboratório 2	Reciclável
Aço	4,862	7,006	4,192	4,474	4,897	5,876	Sim
Alumínio	0,276	0,360	0,226	0,080	0,220	0,460	Sim
Plástico	0,202	0,656	1,818	0,618	1,017	0,789	Sim
Placas	1,642	0,776	1,300	0,662	1,209	1,012	Sim
Cabo	0,262	0,416	0,306	0,092	0,381	0,289	Sim
Rejeitos	0,320	0,060	0,078	0,006	0,060	0,189	Não
TOTAL	7,564	9,274	7,920	5,932	7,784	8,615	_____

Tabela 15: Componentes dos Gabinetes, em porcentagem.

Item	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Laboratório 1	Laboratório 2	Reciclável
Aço	64,28%	75,54%	52,93%	75,42%	62,91%	68,21%	Sim
Alumínio	3,65%	3,88%	2,85%	1,35%	2,83%	5,34%	Sim
Plástico	2,67%	7,07%	22,95%	10,42%	13,07%	9,16%	Sim
Placas	21,71%	8,37%	16,41%	11,16%	15,53%	11,75%	Sim
Cabo	3,46%	4,49%	3,86%	1,55%	4,89%	3,35%	Sim
Rejeitos	4,23%	0,65%	0,98%	0,10%	0,77%	2,19%	Não
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	_____

A quantidade dos componentes passível de reciclagem pode variar de um modelo para outro devido às características dos modelos e aos materiais utilizados, uma vez que empresas que buscam desenvolver os equipamentos visando facilitar sua desmontagem possuem um grau maior de equipamentos recicláveis, pois há uma menor mistura dos mesmos. Entretanto, a quantidade de “Rejeitos” presentes nos modelos estudados mostra que, em termos quantitativos, a reciclagem dos gabinetes é viável.

Apesar dos mesmos já terem sido adaptados para os notebooks, reduzindo a quantidade de materiais em sua constituição, os gabinetes continuam sendo produzidos, pois diminuem o custo do produto final quando comprados em conjunto com um monitor, na forma de um microcomputador, o que mantém um comércio aquecido em países em desenvolvimento como o Brasil.

Os dados dos monitores CRT são apresentados na Tabela 16 e na Tabela 17, mostrando algumas diferenças em relação aos gabinetes, principalmente em relação a fatia passível de reciclagem de seus componentes.

Tabela 16: Componentes dos Monitores CRT, em Kg.

Item	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Laboratório 1	Laboratório 2	Reciclável
Aço	0,800	0,037	0,000	0,640	0,405	0,350	Sim
Alumínio	0,249	0,328	0,078	0,094	0,170	0,176	Sim
Plástico	2,132	2,950	2,544	2,414	2,734	2,610	Sim
Placas	0,943	0,570	1,118	0,360	0,841	0,894	Sim
Cinescópio	7,350	5,866	6,500	9,000	7,826	6,865	Parcialmente
Cabos	1,121	1,276	1,000	1,094	1,098	1,342	Parcialmente
Rejeitos	0,000	0,032	0,058	0,137	0,075	0,060	Não
TOTAL	12,595	11,059	11,298	13,739	13,149	12,297	_____

Tabela 17: Componentes dos monitores CRT, em porcentagem.

Item	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Laboratório 1	Laboratório 2	Reciclável
Aço	6,35%	0,33%	0,00%	4,66%	3,08%	2,85%	Sim
Alumínio	1,98%	2,97%	0,69%	0,68%	1,29%	1,43%	Sim
Plástico	16,93%	26,68%	22,52%	17,57%	20,79%	21,22%	Sim
Placas	7,49%	5,15%	9,90%	2,62%	6,40%	7,27%	Sim
Cinescópio	58,36%	53,04%	57,53%	65,51%	59,52%	55,83%	Parcialmente
Cabos	8,90%	11,54%	8,85%	7,96%	8,35%	10,91%	Parcialmente
Rejeitos	0,00%	0,29%	0,51%	1,00%	0,57%	0,49%	Não
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	_____

Quando se analisam os monitores CRT, fica evidente que, dentre os modelos aqui estudados, este é o que mais preocupa atualmente, devido às concentrações de metais pesados presentes no cinescópio. A reciclagem dessa parte do monitor é difícil e tem um custo elevado, o que acarreta na disposição em aterros desses monitores, uma vez que a concentração de chumbo nesses equipamentos é grande, sendo necessário um maquinário específico para a sua descontaminação. Entretanto, mesmo com esse

processo, parte do cinescópio continua contaminado, sendo classificado como resíduo sólido Classe I.

Apesar desses equipamentos já terem saído da linha de produção dos computadores, uma vez que foram substituídos pelos monitores LCD, os mesmos geram preocupações devido às grandes quantidades desses monitores ainda estarem presentes com os consumidores, seja em uso ou estocado, tanto nos países desenvolvidos como em desenvolvimento, como no Brasil, o que pode resultar em graves impactos ambientais e sociais se os mesmos não forem direcionados para centros de reciclagem legalizados.

Outra característica importante a ser analisada nesses monitores diz respeito ao seu peso, assim como ao peso do cinescópio, que consiste na parte mais difícil de separar desses tipos de equipamentos eletrônicos, pois apresentam alguns metais pesados em sua constituição que, em contato com o ser humano ou a natureza, resultam em risco de contaminação.

A Tabela 18 e a Tabela 19 mostram os componentes dos monitores LCD, os quais apresentam características e composição diferentes quando comparados com os monitores CRT, apesar de apresentarem a mesma funcionalidade.

Tabela 18: Componentes dos Monitores LCD, em Kg.

Item	Empresa A (15")	Empresa B (15")	Empresa C (21,5")	Empresa D (27")	Laboratório 1 (15")	Laboratório 2 (15")	Reciclável
Aço/Alumínio	0,586	0,908	2,360	3,660	0,845	0,978	Sim
Plástico	1,280	1,270	1,965	3,400	1,298	1,286	Sim
Placas	0,122	0,216	0,410	0,965	0,230	0,215	Sim
Vidro	0,394	0,322	0,555	0,825	0,297	0,522	Sim
Cabos	0,021	0,058	0,060	0,080	0,048	0,050	Sim
Rejeitos	0,000	0,088	0,040	0,225	0,062	0,070	Não
TOTAL	2,403	2,862	5,390	9,155	2,780	3,121	_____

Tabela 19: Componentes dos Monitores LCD, em porcentagem.

Item	Empresa A (15")	Empresa B (15")	Empresa C (21,5")	Empresa D (27")	Laboratório 1 (15")	Laboratório 2 (15")	Reciclável
Aço/Alumínio	24,39%	31,73%	43,78%	39,98%	30,40%	31,34%	Sim
Plástico	53,27%	44,37%	36,46%	37,14%	46,69%	41,20%	Sim
Placas	5,08%	7,55%	7,61%	10,54%	8,27%	6,89%	Sim
Vidro	16,40%	11,25%	10,30%	9,01%	10,68%	16,73%	Sim
Cabos	0,87%	2,03%	1,11%	0,87%	1,73%	1,60%	Sim
Rejeitos	0,00%	3,07%	0,74%	2,46%	2,23%	2,24%	Não
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	_____

Os monitores LCD vieram para substituir os monitores CRT, uma vez que foram projetados para poluírem menos o meio ambiente e serem mais fáceis de reaproveitar ou reciclar, tal que os mesmos não utilizam os tubos de imagem (cinescópio) em sua composição.

Tal evolução foi importante em relação aos aspectos ambientais o que resultou na manutenção da produção desses equipamentos até os dias atuais, sendo desenvolvidas inovações em suas características para que poluam cada vez menos o meio ambiente e o ser humano. Essas ecoinovações estão relacionadas a três aspectos principais: as características das matérias primas utilizadas na sua constituição, o peso e a espessura desses monitores, visando transformá-los cada vez mais em monitores de fácil locomoção.

Assim como na estrutura do gabinete, os monitores LCD possuem um elevado grau de reciclagem em relação a sua massa, sendo inviável a reciclagem de apenas uma pequena parcela de sua constituição, entretanto a reciclagem dos resíduos de vidro requer uma atenção especial.

A Tabela 20 e a Tabela 21 mostram os componentes que compõem um notebook que também apresenta um elevado percentual de reciclagem em relação a sua massa, uma vez que não utiliza certos contaminantes que dificultam este processo, como o Chumbo por exemplo.

Tabela 20: Componentes dos notebooks, em Kg.

Item	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Laboratório 1	Laboratório 2	Reciclável
Aço	0,520	0,340	0,458	0,000	0,423	0,366	Sim
Alumínio	0,275	0,330	0,568	0,534	0,458	0,487	Sim
Plástico	0,905	0,706	0,462	0,448	0,608	0,610	Sim
Placas	0,439	0,470	0,476	0,527	0,480	0,500	Sim
Bateria	0,353	0,320	0,218	0,371	0,290	0,280	Parcialmente
Cabos	0,021	0,016	0,024	0,016	0,026	0,021	Sim
Vidro	0,156	0,142	0,096	0,104	0,112	0,135	Sim
Rejeitos	0,000	0,000	0,066	0,041	0,085	0,030	Não
TOTAL	2,669	2,324	2,368	2,041	2,482	2,429	_____

Tabela 21: Componentes dos Notebooks, em porcentagem.

Item	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Laboratório 1	Laboratório 2	Reciclável
Aço	19,48%	14,63%	19,34%	0,00%	17,04%	15,07%	Sim
Alumínio	10,30%	14,20%	23,99%	26,16%	18,45%	20,05%	Sim
Plástico	33,91%	30,38%	19,51%	21,95%	24,50%	25,11%	Sim
Placas	16,45%	20,22%	20,10%	25,82%	19,34%	20,58%	Sim
Bateria	13,23%	13,77%	9,21%	18,18%	11,68%	11,53%	Parcialmente
Cabos	0,79%	0,69%	1,01%	0,78%	1,05%	0,86%	Sim
Vidro	5,84%	6,11%	4,05%	5,10%	4,51%	5,56%	Sim
Rejeitos	0,00%	0,00%	2,79%	2,01%	3,42%	1,24%	Não
TOTAL	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	_____

A descaracterização e desmontagem de um notebook é relativamente simples, apesar das variações entre os modelos, o que resulta em seu elevado grau de reciclagem. Entretanto, a bateria e alguns outros componentes aparecem como exceção, pois possuem características que dificultam sua reciclagem no país devido aos custos envolvidos com a descaracterização da bateria e às pequenas proporções dos outros constituintes que não viabilizam sua reciclagem como, por exemplo, a borracha e o isopor.

Apesar disso, a desmontagem dos componentes eletrônicos se mostra uma atividade a ser analisada e estruturada nas economias em desenvolvimento, uma vez que a recuperação desses materiais diminui a extração dos recursos naturais.

Para facilitar a comparação dos modelos estudados em relação aos componentes que o compõem, serão apresentados nas Figuras 25, 26, 27, 28, 29 e 30 os quatro modelos estudados separados por empresa. Os dados apresentados representam as tabelas com os valores percentuais de cada um dos modelos.

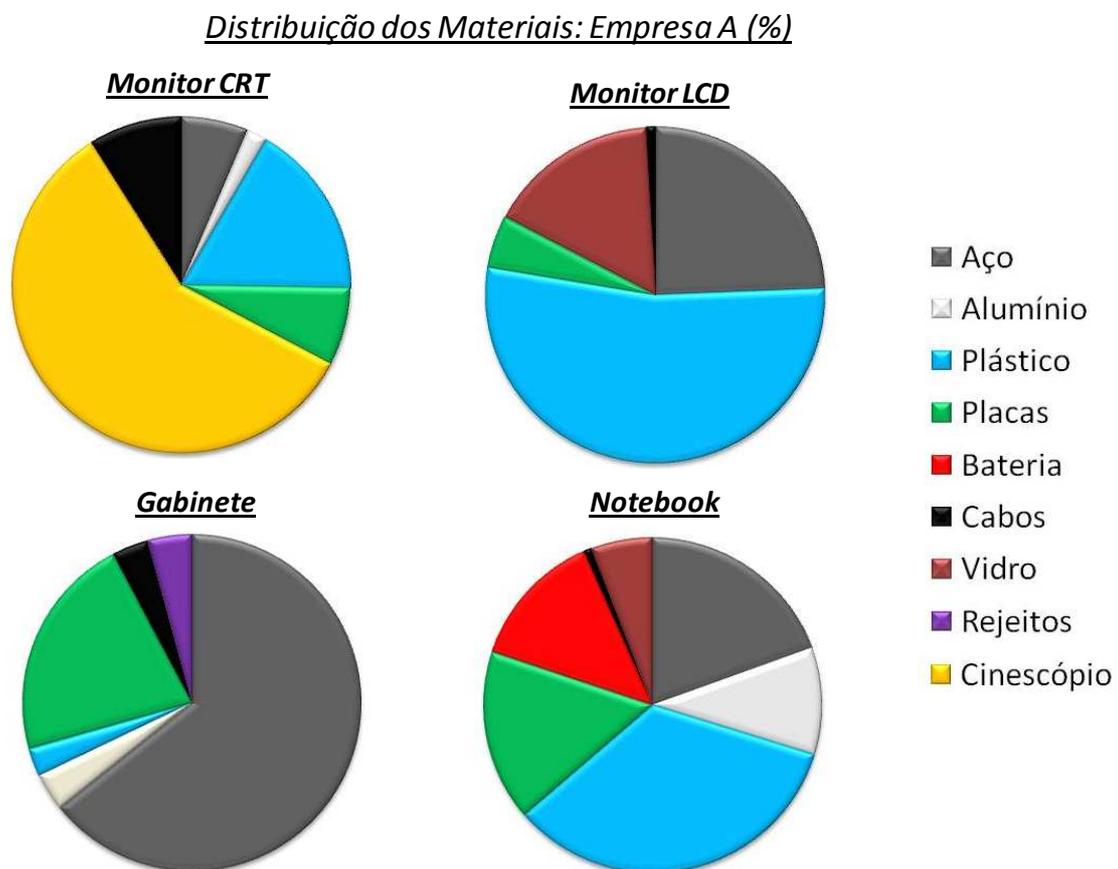


Figura 25: Distribuição dos materiais por modelo estudado coletados na empresa A.

Distribuição dos Materiais: Empresa B (%)

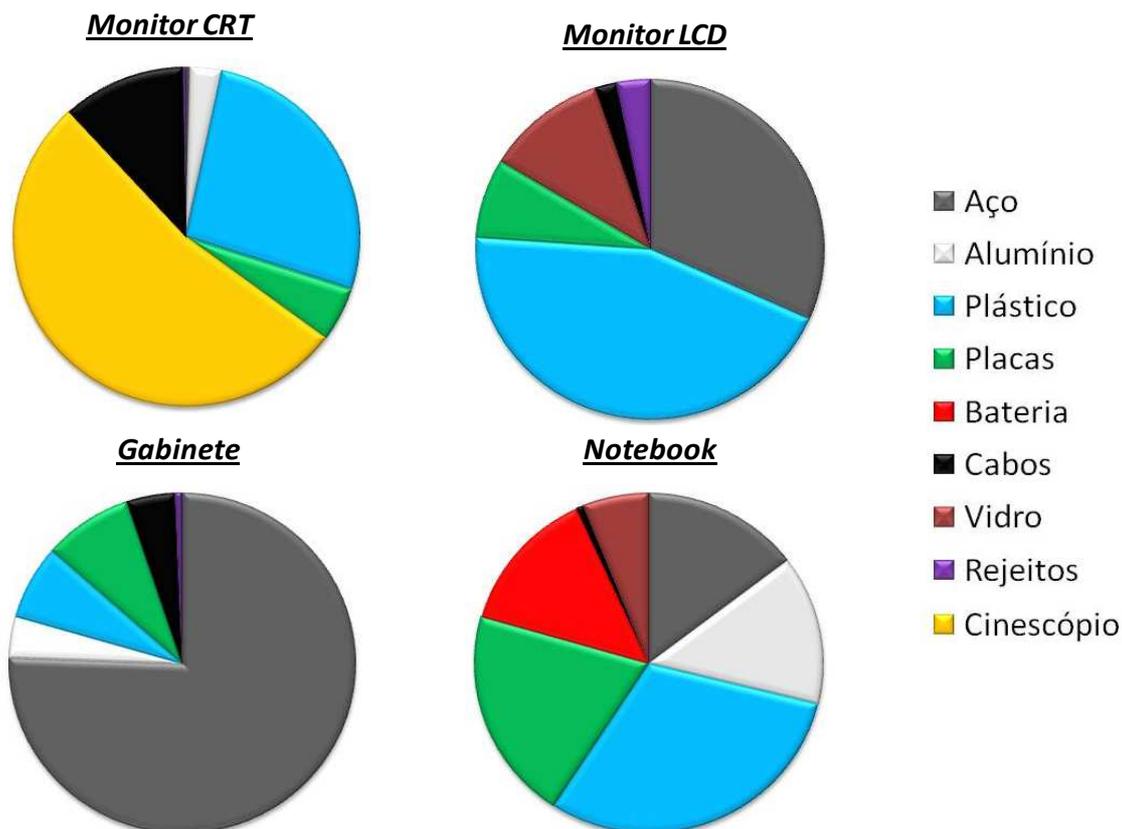


Figura 26: Distribuição dos materiais por modelo estudado coletados na empresa B.

Distribuição dos Materiais: Empresa C (%)

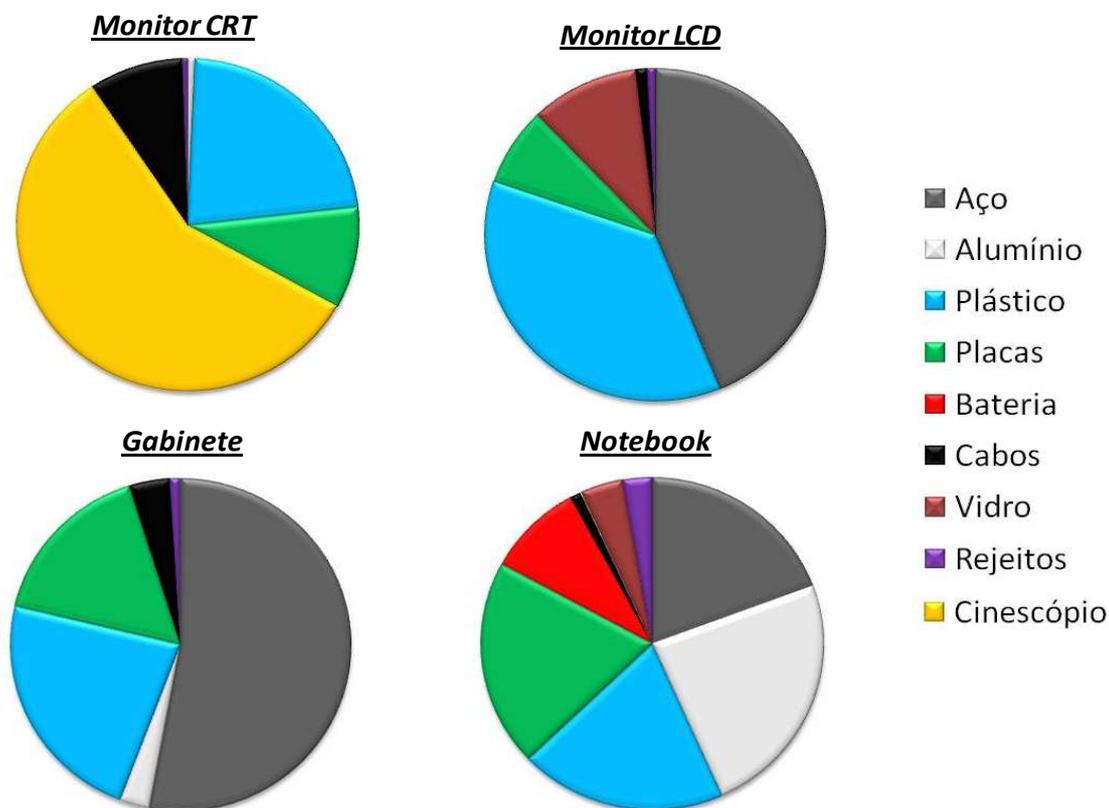


Figura 27: Distribuição dos materiais por modelo estudado coletados na empresa C.

Distribuição dos Materiais: Empresa D (%)

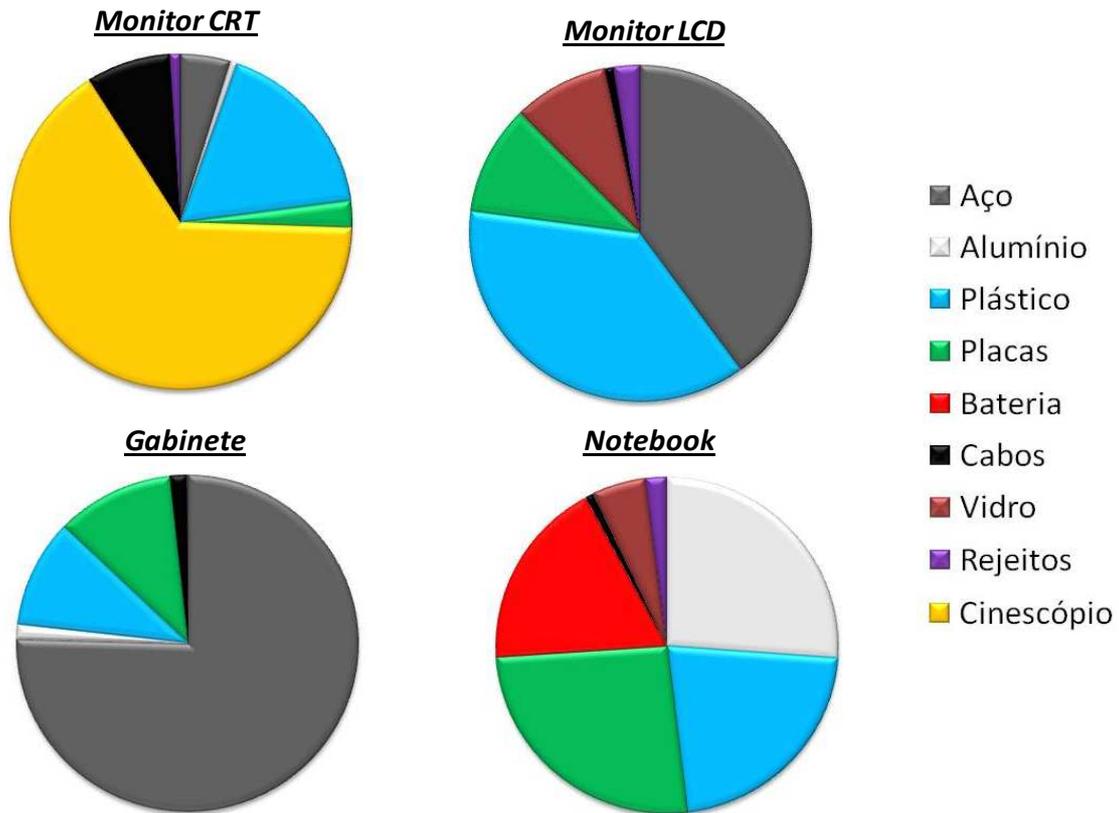


Figura 28: Distribuição dos materiais por modelo estudado coletados na empresa D.

Distribuição dos Materiais: Laboratório 1 (%)

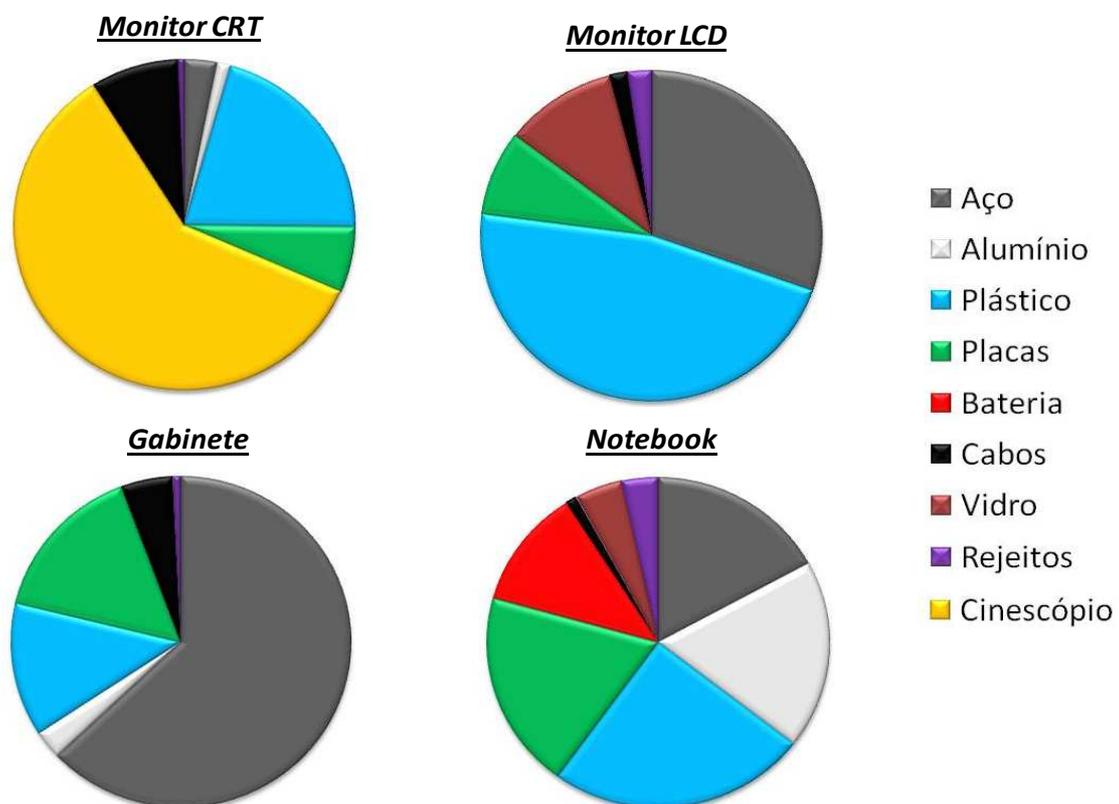


Figura 29: Distribuição dos materiais por modelo estudado, Laboratório 1.

Distribuição dos Materiais: Laboratório 2 (%)

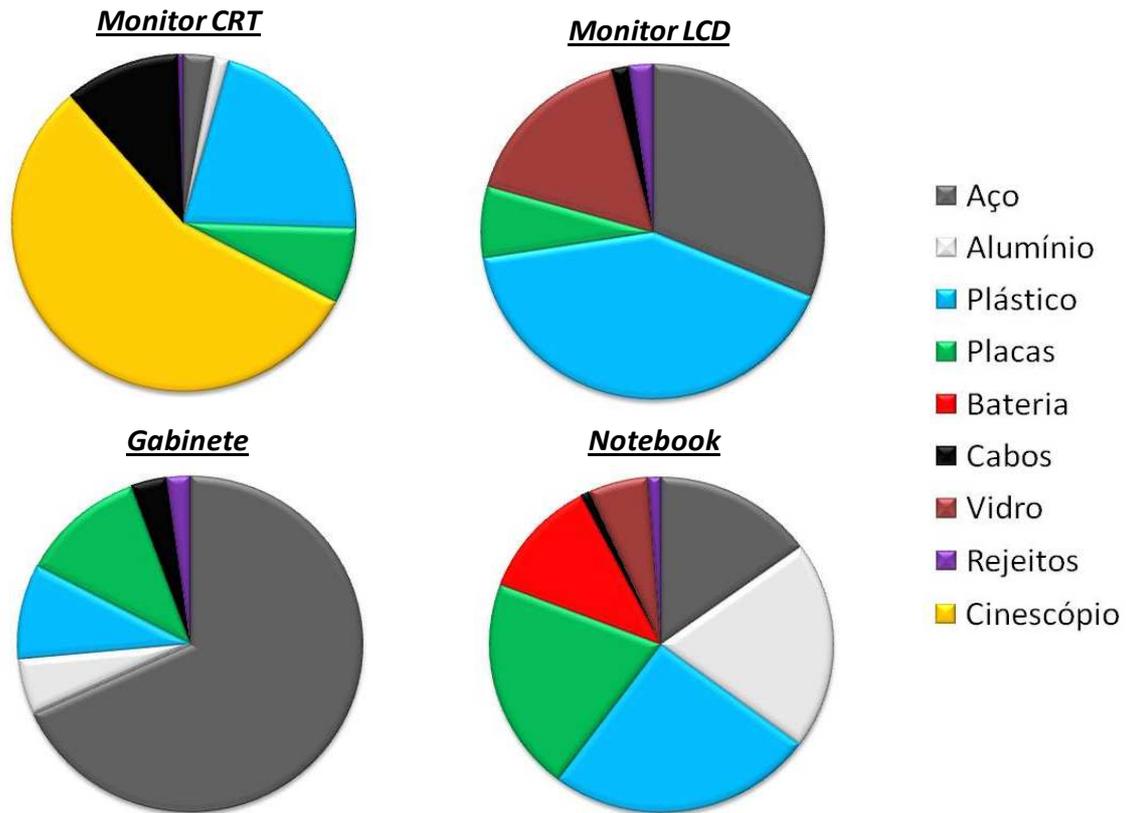


Figura 30: Distribuição dos materiais por modelo estudado, Laboratório 2.

É possível observar a partir dessas figuras a variação dos materiais que constituem cada modelo estudado, assim como a evolução em relação ao tipo de material utilizado em suas composições. Como exemplo tem-se, a porcentagem em peso do cinescópio nos Monitores CRT que não estão presentes em seus sucessores, os Monitores LCD.

Outro fator que pode ser destacado é a redução na quantidade de cabos utilizados na constituição do Monitor CRT para o Monitor LCD, o que mostra a importância de se pensar em inovações em relação ao layout desses equipamentos, assim como suas funcionalidades.

A Figura 31 e a Figura 32 apresentam a composição total dos modelos estudados, em peso e em valores percentuais, com o objetivo de mostrar a quantidade de material utilizada na montagem desses equipamentos permitindo uma análise entre os mesmos.

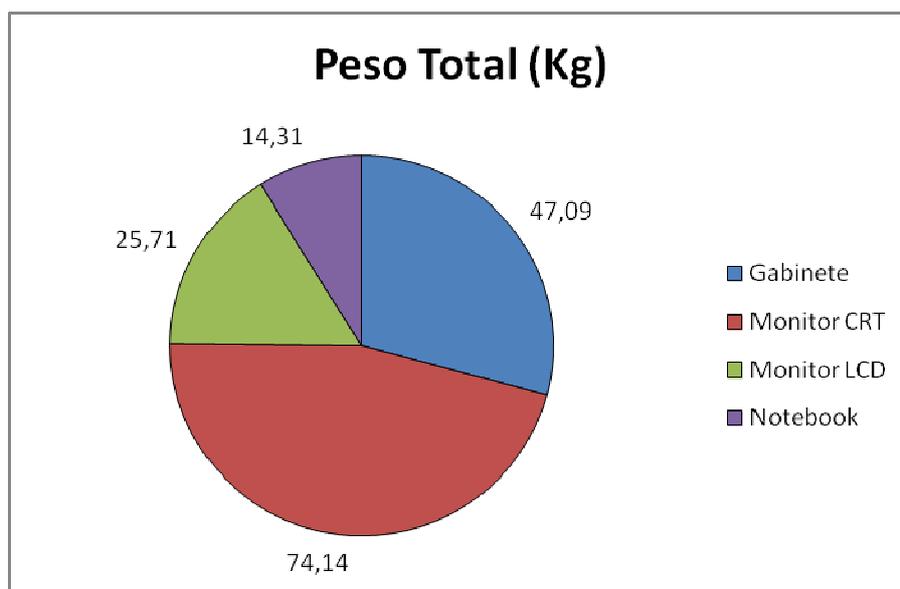


Figura 31: Peso total dos equipamentos analisados, separados por tipo de equipamento.

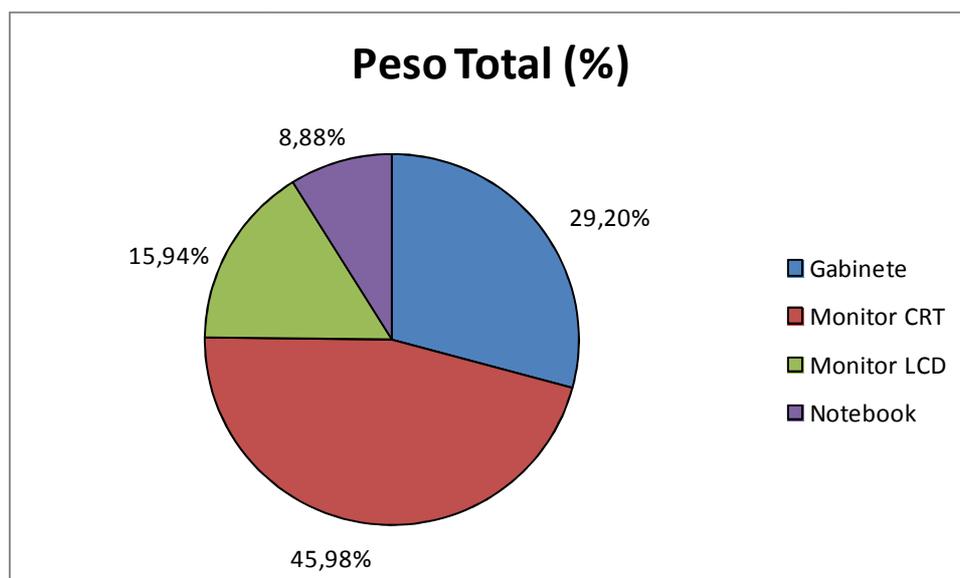


Figura 32: Peso total dos equipamentos analisados em valores percentuais, separados por tipo de equipamento.

Os gráficos nos apresentam a relação entre os equipamentos analisados, evidenciando que o monitor CRT possui o maior peso entre os modelos estudados, sendo também o equipamento que apresenta as maiores dificuldades na sua recuperação e reciclagem.

Analisando as tabelas apresentadas, e os gráficos com os pesos totais, fica evidente que a maior parte dos computadores é passível de reciclagem, independente do modelo, o que é apresentado na Figura 33 e na Figura 34.

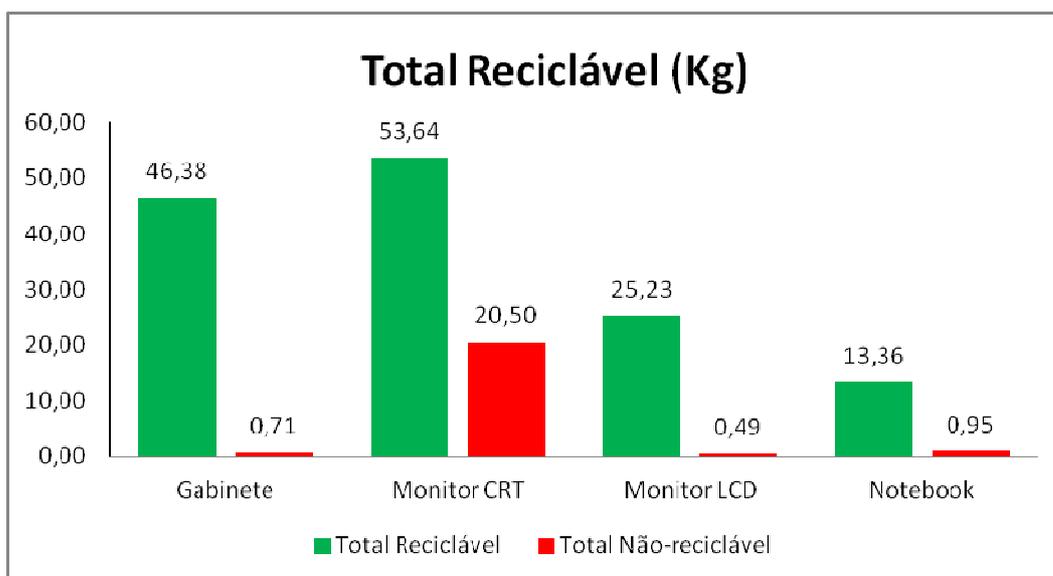


Figura 33: Total reciclável e não reciclável dos modelos apresentados.

Quando se analisa os resultados apresentados, fica evidente que a reciclagem dos componentes eletrônicos é viável economicamente, uma vez que excluindo os monitores CRT tem-se que o percentual reciclável dos mesmos é superior a 90%.

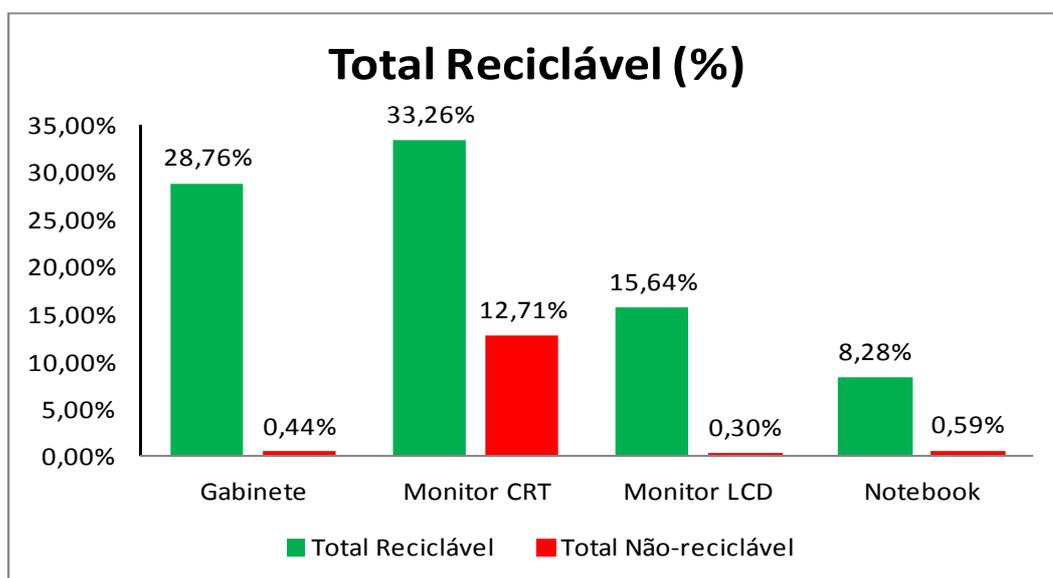


Figura 34: Total reciclável e não reciclável dos modelos apresentados, em valores percentuais.

Mesmo incluindo os monitores CRT, a porcentagem dos componentes recicláveis passa de 75% em peso, o que traz ganhos ambientais e sociais consideráveis se os mesmos receberem uma destinação adequada, podendo destacar como grande obstáculo para esta indústria nos países em

desenvolvimento à estruturação dos sistemas de LR e Manufatura Reversa para o recolhimento e reciclagem desses materiais.

4.3 Impactos Ambientais Oriundos da Destinação dos Equipamentos Eletrônicos

Os impactos ambientais referentes a cadeia dos produtos eletrônicos não estão presentes apenas no processo de produção. Pelo contrário, a maior preocupação desta cadeia são os impactos potenciais desses equipamentos após o esgotamento de sua vida útil.

Tais preocupações estão relacionadas com a cadeia de geração desses equipamentos, que cresceu vertiginosamente nas duas últimas décadas, e possui previsão de um crescimento ainda maior.

Posto isso, serão discutidos a seguir as possibilidades de destinação final dos equipamentos eletrônicos, mostrando os impactos provenientes de cada uma das atividades, assim como o aspecto ambiental atingido e sua dimensão para a sociedade.

4.3.1 Reciclagem ou Manutenção Local Informal

Consiste em uma prática muito utilizada em países em desenvolvimento, onde os equipamentos eletrônicos são reparados para serem novamente utilizados, ou desmontados para o aproveitamento de algumas de suas partes, consideradas funcionais, vendendo as demais partes no mercado informal, ou descartando-as no meio ambiente.

Possui baixo custo na sua manutenção, entretanto incentiva o mercado informal local, contribuindo para o aumento da faixa de pobreza no país, assim como aumentando o risco de contaminação da saúde da população local com os contaminantes ou metais presentes nesses equipamentos, uma vez que esta faixa de mercado não é treinada para realizar a reciclagem desses equipamentos.

Em relação aos impactos ambientais, esta prática acaba contaminando tanto o solo, como a água e o ar, uma vez que a ausência de estrutura adequada e treinamento acarretam em processos insalubres, principalmente em relação

aos monitores CRT. Esses impactos são oriundos dos descartes inadequados no meio natural desses materiais, assim como devido as práticas de queima a céu aberto de parte desses materiais.

4.3.2 Refino e Tratamento

Pode ser considerada a melhor solução para o tratamento de alguns componentes dos equipamentos eletrônicos, dentre eles cabe destacar as placas eletrônicas, pois através desses processos pode-se recuperar os metais preciosos presentes nos equipamentos de maneira isolada. Esta prática tem um elevado custo operacional, entretanto possui características ótimas no retorno dessas matérias primas no mercado, diminuindo os custos para a extração de novos metais.

Como impactos ambientais deste processo, tem-se a possibilidade de contaminação do ar através dos processos de combustão e o maquinário utilizado em geral; risco potencial de contaminação da água devido aos problemas no tratamento dos efluentes líquidos resultantes do processo de tratamento ou refino; e o risco de contaminação do solo através da disposição final inadequada da borra que sobra desse processo de recuperação. Entretanto, as plantas que realizam essas operações precisam ser aprovadas e possuir os indicadores ambientais atualizados conforme as normas locais vigentes.

4.3.3 Incineração

A incineração é uma prática muito utilizada para a redução da biomassa de alguns materiais, mas em relação aos produtos eletrônicos é necessário ter atenção quanto a utilização desta prática, pois no processo de combustão desses materiais vários metais pesados são emitidos pelo ar, ocasionando sérias consequências para a população tanto ao entorno da planta, de maneira direta, quanto para as demais sociedades de maneira indireta.

Esta prática tem um custo relativamente razoável, variando muito com a região em que for aplicada e o grau de certificação da empresa que vai realizar o processo. Na maioria dos casos, para os produtos eletrônicos, não é considerada uma prática legal.

Como impactos ambientais, tem-se a poluição do ar, devidos aos metais presentes na constituição desses equipamentos, assim como outros contaminantes. Esta prática apresenta um sério risco também em relação a contaminação das águas e do solo, uma vez que as cinzas resultantes do processo também são constituídas de contaminantes perigosos, que dependendo da sua destinação final, voltam para os ciclos biogeoquímicos e acabam atingindo não só a população local, como também as demais sociedades.

4.3.4 Disposição em Aterros

A disposição em aterros é, provavelmente, uma das práticas legais mais utilizadas para os componentes eletrônicos no Brasil, entretanto geralmente não são separados os materiais contaminantes antes da destinação, o que causa sérios riscos para a população ao entorno desses ambientes assim como para a sociedade.

Esta prática tem um baixo custo operacional, entretanto possui um elevado risco se for realizada de maneira ilegal. Em relação aos impactos sociais, esta prática contribui para a formação de comunidades ao redor desses ambientes que utilizam o lixo como fonte de renda, aumentando consideravelmente os riscos de contaminação da população, seja através do contato direto ou indireto, oriundo da contaminação dos lençóis freáticos, ar e alimentos presentes nos solos.

Ou seja, está prática, quando realizada de maneira ilegal, traz grandes prejuízos ambientais, pois a mistura desses materiais com outros contaminantes em função do tempo e dos fenômenos ambientais acabam contaminando tanto os meios bióticos como os meios abióticos, ou seja, atingindo a fauna, flora, ar, água e solo, assim como a população de maneira direta e/ou indireta.

4.3.5 Disposição em Meio Aquoso

Está é, provavelmente, a segunda pior destinação para os produtos eletrônicos, pois, apesar de possuir um baixo custo operacional na sua execução, esta prática possui impactos ambientais catastróficos.

A disposição em meio aquoso, ou seja, em rios, lagos, lagoas, oceanos, entre outros, faz com que os metais pesados e todos os demais contaminantes presentes nesses produtos sejam carregados pelas águas atingindo proporções inviáveis e impossíveis de remediação, pois a água carrega tais poluentes por todos os lados do globo, interagindo os mesmos com os mais diversos seres vegetais e animais, resultando na contaminação das pessoas ao redor do mundo de maneira indireta.

Esta prática é ilegal e possui sérios problemas para as pessoas que a praticarem, de acordo com cada legislação.

4.3.6 Exportação para Países em Desenvolvimento

A exportação para países em desenvolvimento é a prática mais adotada, atualmente, por parte dos países desenvolvidos, que exportam o seu resíduo eletrônico como equipamento usado, mas ainda em funcionamento.

Entretanto, apenas uma pequena parcela dos containers exportados possuem possibilidades de reutilização. Os demais equipamentos são reciclados nos países em desenvolvimento de maneira, geralmente, precária o que resulta em grandes problemas sociais locais.

O processo de reciclagem nesses países, geralmente, começa com a desmontagem e “catação” dos materiais que são de fácil comércio no mercado ilegal local como o cobre, alguns processadores, entre outros. As demais partes, consideradas “sem valor” são queimadas a céu aberto, ocasionando uma contaminação grave da comunidade local, que possui uma estimativa de vida baixa, cerca de 40 anos, assim como do meio ambiente.

Essa queima a céu aberta emite parte dos contaminantes livremente para o ar, parte infiltra no solo por meio da ação da água sobre as cinzas e a outra parte acaba sendo despejada nos meios aquosos, contaminando tanto os fatores bióticos como os abióticos.

Assim, tem-se que a preocupação com as formas de recuperação e tratamento desses materiais deve ser analisada e discutida dentro das empresas que produzem este tipo de material, mas acaba sendo um dever de todos, pois suas consequências podem atingir qualquer pessoa.

4.4 *Payback*: Análise de Viabilidade de Planta de Reciclagem no Brasil

Analisando os conceitos do TBL e da ACV, para que a ACV seja implantada na prática se faz necessário remeter aos três pilares do TBL. O ambiental, já analisado, mostra que a prática da reciclagem no país pode trazer benefícios consideráveis, enquanto que o social também se beneficiaria, pois retira do consumidor a responsabilidade da reciclagem. Entretanto, se faz necessário apresentar uma estimativa a respeito da viabilidade da reciclagem no país.

Para atingir este objetivo, foi desenvolvido, utilizando-se o indicador “*Payback*”, uma estimativa para estudar a viabilidade de implantação de uma planta de reciclagem no país.

O indicador “*Payback*” visa calcular o capital de retorno do investimento na fase inicial de uma empresa, sendo um estudo importante a ser feito antes de se iniciar uma empresa, independente do ramo de mercado, além de estudos sobre a demanda de matéria prima, entre outros.

Para um eficiente cálculo do capital de retorno, se faz necessário o levantamento de algumas informações relativas à estrutura a ser montada para a reciclagem desses materiais, assim como os gastos operacionais, lucro previsto na venda das mercadorias e o custo por unidade desmontada.

A presente estimativa vai seguir a sequência de cálculos apresentada na Figura 35. É importante destacar que os cálculos serão efetuados para o resultado mensal de operação da empresa.

Receita Bruta
 (-) Impostos
 (=) Receita Líquida
 (-) Custos
 (=) Lucro Bruto
 (-) Despesas
 (=) Lucro Operacional
 (-) Impostos sobre Resultados
 (=) Lucro Líquido

Figura 35: Sequência de cálculos para a obtenção do indicador do capital de retorno.

Com a obtenção do Lucro Líquido, é possível o cálculo do tempo necessário para o retorno do capital investido na empresa. A equação necessária para este cálculo é apresentada a seguir.

$$\text{Payback} = \frac{\text{Investimento Total}}{\text{Lucro Líquido Anual}}$$

Como resultado desta fórmula, tem-se o número de anos necessários para a recuperação do capital investido para a abertura do empreendimento.

Para a Base de Cálculo do demonstrativo, serão apresentadas, na Tabela 22, algumas informações referentes aos custos de produção dos componentes eletrônicos, assim como relativas ao lucro obtido por unidade vendida e o investimento inicial estimado para a montagem e execução das atividades da empresa.

Tabela 22: Investimento inicial para a montagem da unidade, assim como as despesas mensais inerentes ao processo de produção (em dólar (\$)).

Investimento	Valor	Depreciação
Máquinas/Instalações	\$ 201.468,03	10%
Caminhão	\$ 59.332,03	20%
Móveis e Utensílios	\$ 12.711,86	10%
Investimentos Totais	\$ 273.511,92	(-----)

Despesas	Valor	Depreciação
Custo Fixo	\$ 5.323,88	(-----)
Despesa	\$ 13.719,91	(-----)
Custo Variável	\$ 5.036,42	(-----)

Estão sintetizados os valores referentes ao investimento inicial que consistem:

- Aquisição do maquinário necessário para a correta descaracterização, inutilização e desmontagem dos computadores, como as bancadas de desmontagem, o aterramento das ferramentas para desmontagem, os tambores de armazenamento, as prateleiras de estoque e as máquinas necessárias para o processo operacional;
- Aquisição de um caminhão para a coleta dos equipamentos a partir dos consumidores finais;
- Móveis e utensílios para a administração, estrutura do ponto de atendimento ao cliente, os equipamentos de proteção individual, as licenças de operação e vistoria, entre outros.

Em relação às despesas têm-se:

- Despesa com o pessoal são os salários da administração, salário da equipe de limpeza, comissões de vendas, entre outros;
- Nos custos fixos estão o pagamento do aluguel, pro labore dos sócios, manutenção e depreciação dos equipamentos, monitoramento e segurança, entre outros;
- Nos custos variáveis estão o pagamento das contas de água, luz, energia elétrica, telefone, aquisição de matérias primas e embalagens, entre outros.

De uma maneira mais detalhada, a Tabela 23 apresenta os custos e as receitas inerentes a cada modelo estudado. Os valores apresentados são valores médios para o processo de desmontagem dos equipamentos.

Tabela 23: Custo e Lucro Médio Unitário por modelo estudado (em dólar (\$)).

Modelo	Custo Médio Unitário	Lucro Médio Unitário	Lucro Médio por Kg
Gabinete	\$ 0,85	\$ 2,97	\$ 0,26
Monitor CRT	\$ 1,91	\$ 6,78	\$ 0,38
Monitor LCD	\$ 0,85	\$ 2,12	\$ 0,40
Notebook	\$ 1,70	\$ 2,12	\$ 0,23

A Tabela 24 apresenta o resultado operacional aplicado à empresa de reciclagem para obtenção do seu Lucro Líquido mensal. Cabe destacar, que são calculados os impostos inerentes a uma empresa de médio porte localizada na RMC (Região Metropolitana de Campinas), assim como toda a tabela de custo e lucro operacional são calculados levando-se em conta as características da região estudada, os salários base aplicados na região para cada uma das funções, os valores de aluguel, mercado local, entre outras características.

Assim, para a aplicação deste indicador se faz necessário um levantamento das características da região, caso a planta de reciclagem seja projetada para ser implantada em outra região do Brasil ou em outro país.

Tabela 24: Demonstrativo da obtenção do lucro líquido mensal para uma empresa de reciclagem dos produtos eletrônicos.

Modalidade	Valor	% Despesas
Receitas sobre Venda	\$ 59.886,12	100,00%
Venda de Produtos	\$ 59.886,12	100,00%
Impostos sobre Vendas	\$ 9.102,69	15,20%
(-) Impostos Estaduais (ICMS)	\$ 6.916,85	11,55%
(-) Impostos Federais (PIS)	\$ 389,26	0,65%
(-) Impostos Federais (COFINS)	\$ 1.796,58	3,00%
(=) Receita Líquida	\$ 50.783,43	84,80%
(-) CMV (Custo de Mercadoria Vendida)	\$ 21.193,70	35,39%
(=) Lucro Bruto	\$ 29.589,73	49,41%
(-) Custo fixo	\$ 5.323,88	8,89%
(-) Despesas	\$ 13.719,91	22,91%
(-) Custo variável	\$ 5.036,42	8,41%
(=) Lucro operacional	\$ 5.509,52	9,20%
(-) Imposto sobre o Resultado	\$ 1.365,40	2,28%
IRPJ	\$ 718,63	1,20%
CSLL	\$ 646,77	1,08%
(=) Lucro Líquido	\$ 4.144,12	6,92%
Margem de Lucro líquido	(-----)	6,92%

De acordo com o demonstrativo, tem-se que o Lucro Líquido mensal obtido pela empresa gira em torno dos \$ 4.144,12. Para o cálculo do indicador de retorno é necessário calcular o Lucro Líquido anual.

$$\text{Lucro Líquido Anual} = \$ 4.144,12 \times 12 = \$ 49.729,44$$

Com a obtenção do Lucro Líquido anual obtido pela empresa, é possível o cálculo do tempo necessário para o retorno do capital investido.

$$\text{Payback} = \frac{\$ 156.789,65}{\$ 49.729,44} = 5,5 \text{ anos}$$

Portanto, o tempo necessário para o retorno do capital inicial investido é de cerca de 5 anos e meio, ou 66 meses, com uma taxa de contribuição de 6,92% ao mês.

De acordo com o mercado nacional, a taxa de contribuição está dentro do que ocorre no mercado, assim como o tempo para retorno do capital investido não é considerado longo, por dois fatores: por se tratar de uma empresa de reciclagem, que enfrenta algumas barreiras culturais no país; e pelo fato do pro labore dos sócios estar sendo pago mensalmente, junto com o salário dos colaboradores.

4.5 Fluxograma reverso do processo de reaproveitamento dos componentes de um microcomputador

O processo de Manufatura Reversa desses equipamentos possui algumas diferenças em relação à manufatura tradicional, tal que foi desenvolvido e estruturado um fluxograma, em parceria com uma empresa de reciclagem dos produtos eletrônicos, que sintetiza todo o processo de Manufatura Reversa utilizado na empresa, assim como as etapas após a saída desses materiais da empresa.

O fluxograma apresentado foi desenvolvido a partir das visitas técnicas na empresa de recuperação dos componentes eletrônicos, das quais se buscou conhecer o processo de produção a nível prático e suas especificidades.

Dentre elas tem-se: como funciona a planta de manufatura reversa, o fluxo dos materiais pela empresa, como ocorre a destinação dos materiais após sua separação, os caminhos utilizados e os meios para a destinação adequada dos mesmos seja na revenda desses materiais, reutilização, ou envio para os aterros dos produtos considerados inviáveis para a reciclagem devido a sua contaminação, entre outros fatores.

Também fez parte na elaboração deste fluxograma as visitas à unidade de fabricação de produtos eletrônicos, pelo fato da mesma também possuir internamente um centro de coleta, desmontagem e reciclagem de seus equipamentos. A partir disso foram feitas comparações entre os processos,

visando compreender as suas diferenças e os pontos em que os mesmos se complementavam.

Diante deste resultado, foi buscado na literatura internacional, trabalhos a respeito do tema para a formalização do fluxograma do processo de Manufatura Reversa para uma empresa em território brasileiro.

Por fim, o desenvolvimento deste fluxograma seguiu alguns parâmetros que são apresentados nos conceitos trabalhados nesta pesquisa, buscando-se interagir o conhecimento teórico com a aplicação prática da Manufatura Reversa.

Assim sendo, é acoplada também neste fluxograma a destinação dos Rejeitos presentes nos equipamentos eletrônicos, ou seja, a fração que não é passível de reciclagem, direcionando qual a classificação dos mesmos em relação a seus contaminantes, para a indicação de qual o aterro necessário para a sua disposição final adequada. O fluxograma é demonstrado nas Figuras 36, 37, 38 e 39.

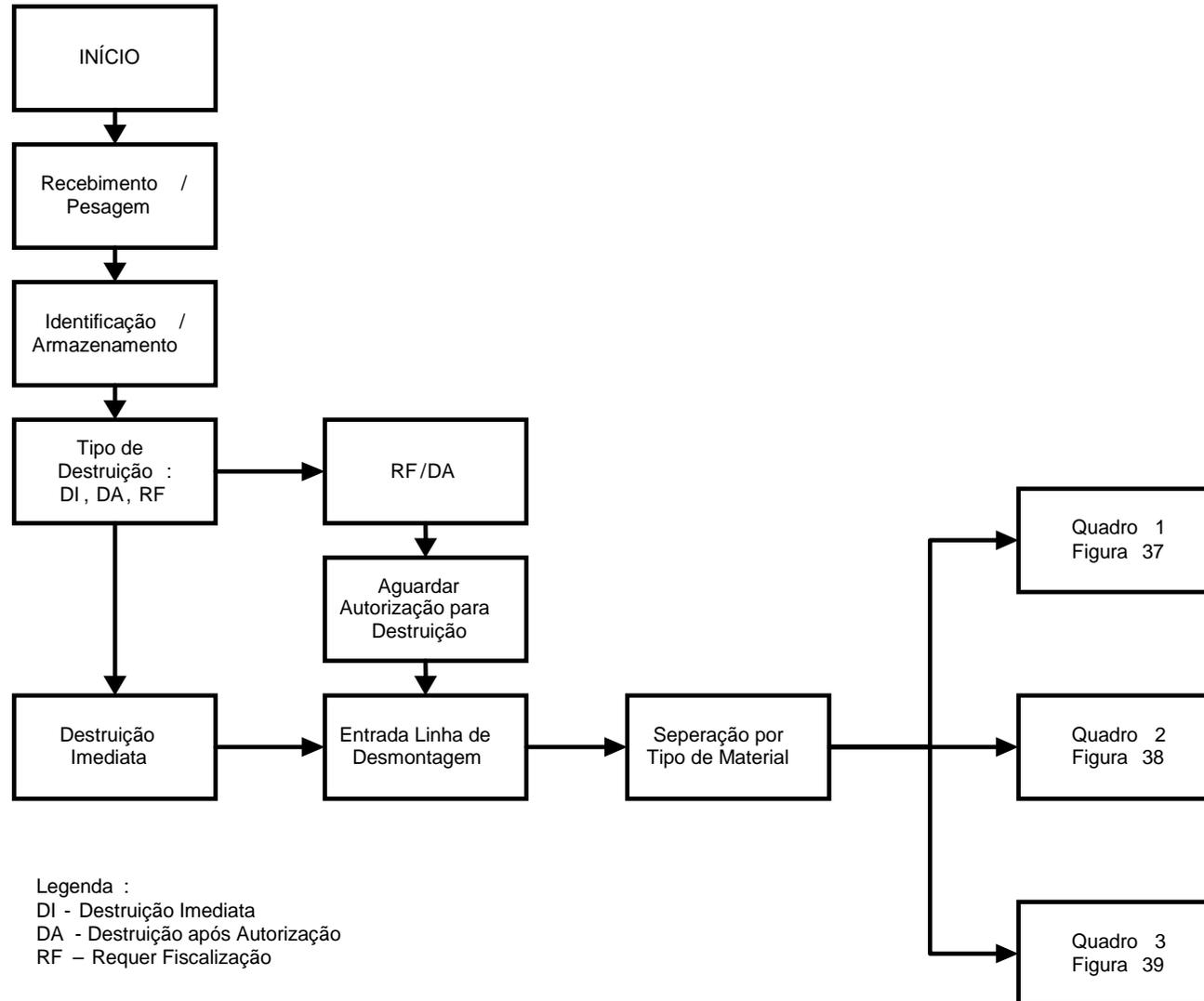


Figura 36: Fluxograma geral do processo de Manufatura Reversa dos equipamentos eletrônicos.

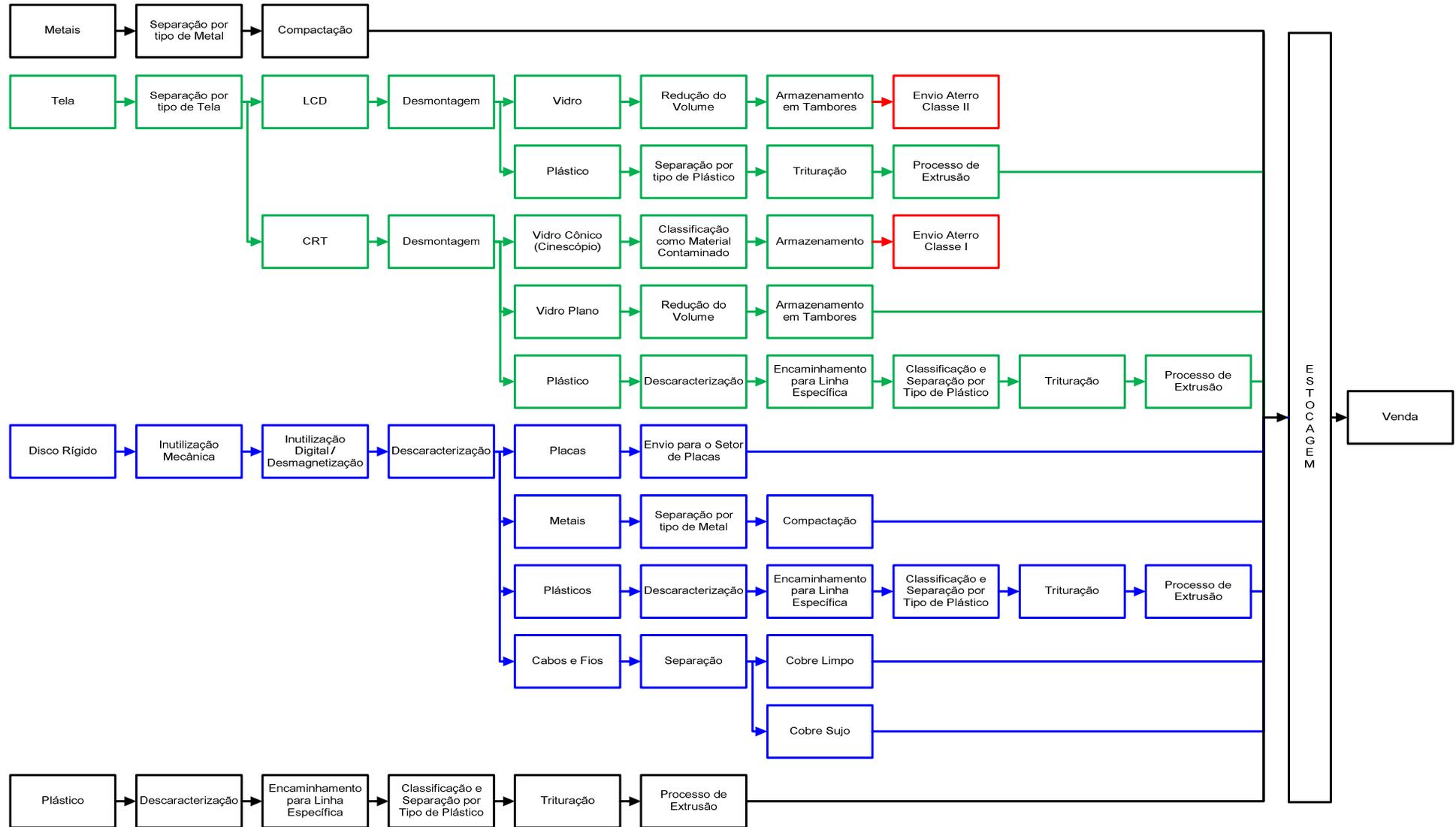


Figura 37: Quadro 1 – Fluxograma da etapa de reaproveitamento dos metais, tela, disco rígido e plásticos presentes nos equipamentos eletrônicos.

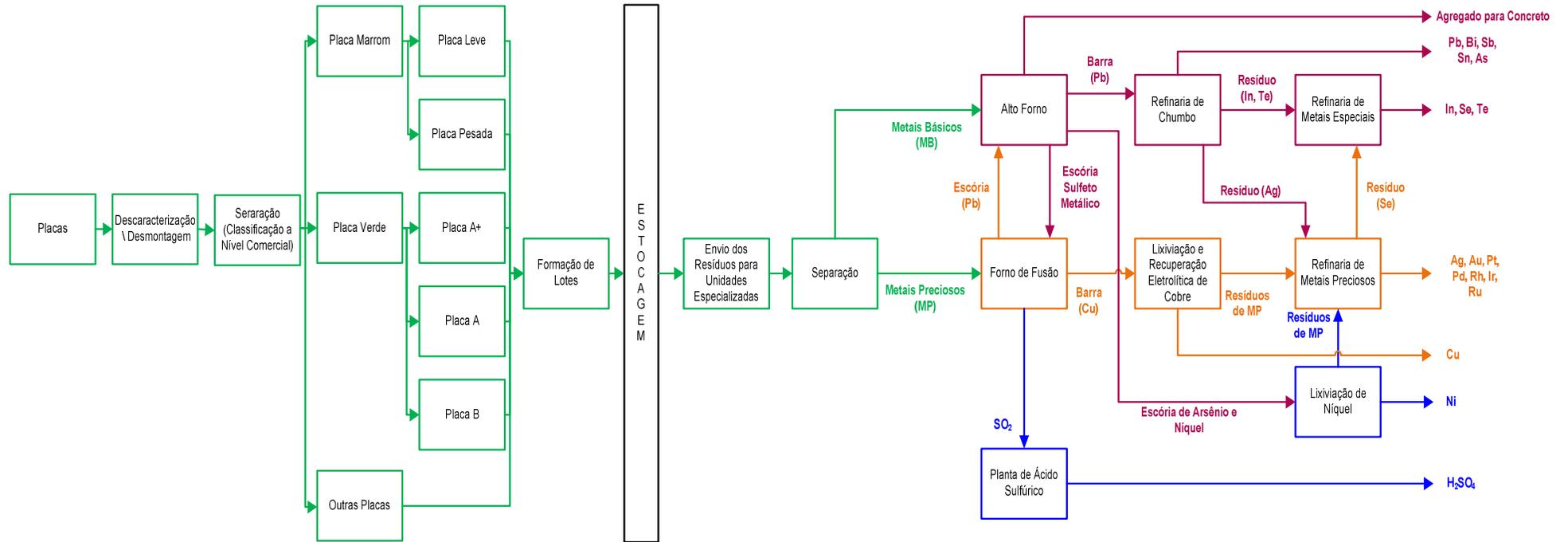


Figura 38: Quadro 2 – Fluxograma da etapa de reaproveitamento das placas presentes nos equipamentos eletrônicos (adaptado UMICORE, 2013).

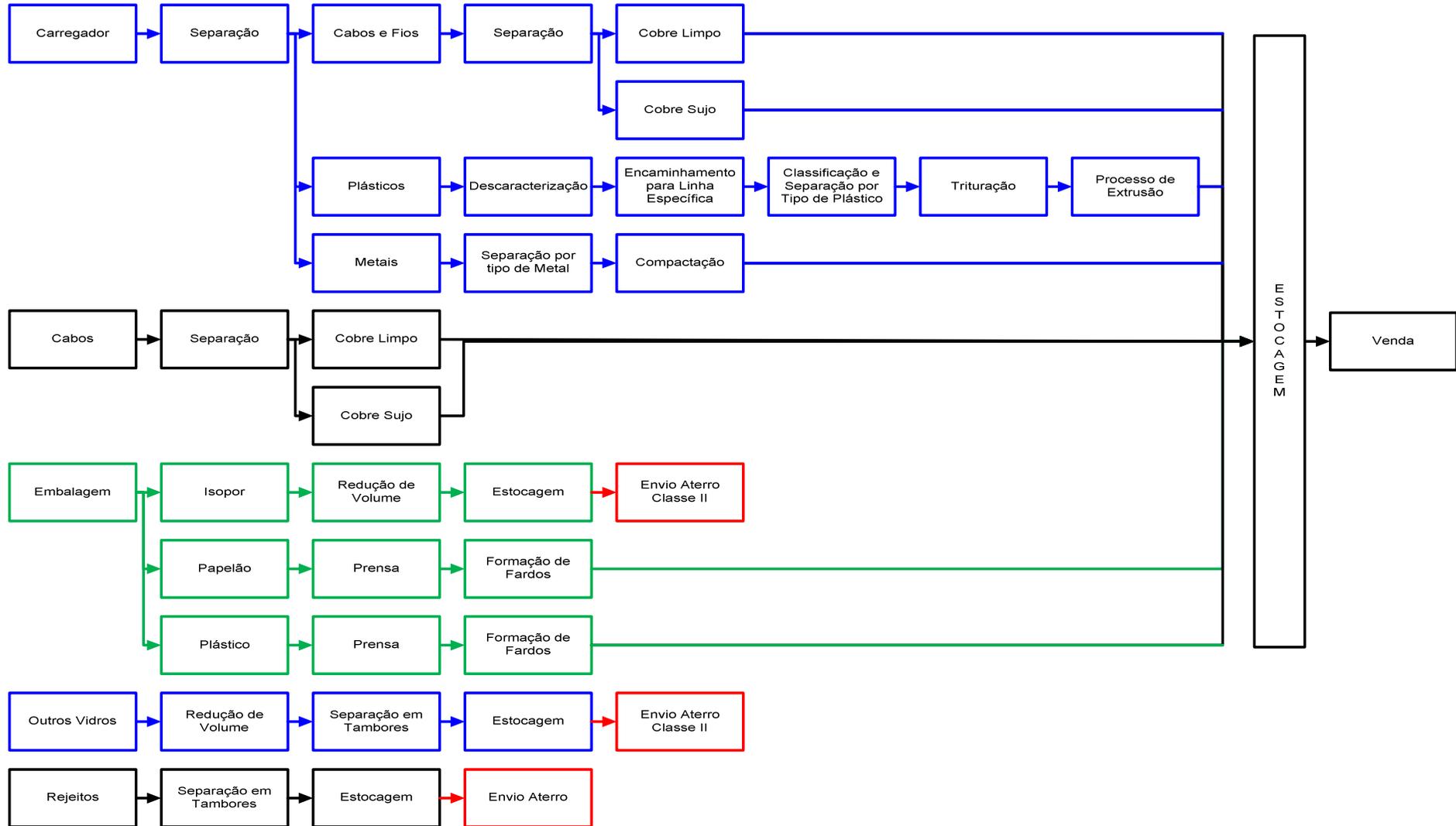


Figura 39: Quadro 3 – Fluxograma da etapa de reaproveitamento do carregador, cabos, embalagem, outros vidros e rejeitos presentes nos equipamentos eletrônico.

5 CONCLUSÕES

Considerando o cenário proposto no início do trabalho e a importância de se conhecer a cadeia de pós-consumo dos componentes eletrônicos com base nos conjuntos estudados (Monitor CRT, Monitor LCD, Notebook e Gabinete), pode-se compreender a influência deste ramo de mercado na evolução tecnológica, de uma maneira geral.

Tal influência possui pontos positivos e negativos, que envolvem os três pilares do TBL, conforme apresentados, que solidificam esta cadeia de produção e apontam que há meios para torná-lo menos danoso dentro da aplicação da ferramenta da ACV com enfoque no TBL.

Isso fica sintetizado na situação brasileira de produção e reaproveitamento desses materiais, uma vez que o processo de produção no país é bem definido, se aproveitando da tecnologia nacional e internacional para a constante otimização de seus processos.

Entretanto, o processo de reaproveitamento desses materiais encontra algumas barreiras: a primeira relaciona-se à aplicação da LR na cadeia de pós-consumo desses materiais; a segunda é caracterizada quanto à disponibilidade das matérias primas “cruas” necessárias para manter a lógica de produção destes equipamentos; e, por fim, existem as barreiras culturais, que no país dificultam diretamente o êxito na implantação de um sistema de manufatura reversa, uma vez que a população não tem consciência dos problemas que a questão do lixo eletrônico causa, pois as questões sociais relacionadas esse fator não atingem as classes com melhor poder aquisitivo.

Várias são as ações, a nível global, tomadas para o reaproveitamento de materiais em fim de vida, assim como buscando incrementar e melhorar os processos inerentes às cadeias de pós-consumo dos produtos obsoletos ou descartáveis. No Brasil, algumas ações governamentais também foram tomadas com o objetivo de reduzir o desperdício. Dentre elas se destaca a PNRS que busca elucidar e salientar os impactos ambientais e sociais oriundos dos resíduos sólidos, assim como classificá-los, para facilitar sua reciclagem, reaproveitamento ou disposição final.

Contudo, a implantação e fiscalização aparecem como os grandes entraves, a nível federal, para a aplicação de práticas e medidas que visem reestruturar os ciclos produtivos com o objetivo de reduzir o desperdício no consumo dos materiais, assim como melhorar a utilização de matérias primas secundárias que, com a estruturação de sistemas de Manufatura Reversa e da LR, esbarram nas questões sociais, as quais acabam sendo guiadas por interesses políticos ou pessoais.

Interligando a teoria com a prática no cenário estudado, é possível compreender a complexidade de se estruturar uma cadeia de pós-consumo no Brasil devido às barreiras a serem superadas. Entretanto, a partir dos resultados obtidos, pode-se perceber que é possível a implantação dessa cadeia no país com ganhos nos três pilares do TBL, podendo destacar que a mudança no aspecto cultural acontece de maneira incremental a partir de ações específicas nesse sentido.

Os levantamentos práticos a respeito da cadeia de produção com os fluxos para frente e reverso, a partir das parcerias firmadas no presente estudo, mostram que os processos de produção podem ser adaptados para receber os produtos obsoletos, ou em fim de vida, de modo que não tragam prejuízos para as organizações.

Assim, é possível observar que existem no país tecnologia e recurso suficiente para a implantação de plantas que venham a reaproveitar esses produtos, recuperando o valor agregado nos mesmos e contribuindo, conseqüentemente, com os conceitos do TBL, pois o retorno do valor agregado gera um lucro que antes era perdido para a empresa.

Ao mesmo tempo, a quantificação da fração que é passível de reciclagem nos modelos de computadores pessoais estudados, demonstra que as corporações estão inovando os processos com o objetivo direto de satisfazer a consciência ambiental que está evoluindo no mercado consumidor, o que resulta em ações indiretas que facilitam a desmontagem e reaproveitamento dos seus componentes. Isto fica evidente quando se compara a fração passível de reciclagem dos Monitores CRT e dos Monitores LCD (seus sucessores).

Entretanto, algumas práticas adotadas para a destinação do lixo eletrônico vão contra essa tendência de mercado, muito impulsionada pelo baixo custo na destinação final, assim como a dificuldade em se identificar os infratores, o que dificulta a estruturação de uma cadeia de pós-consumo, pois aumenta as incertezas em relação a quantidade e a qualidade dos materiais a serem reciclados.

Os impactos oriundos da destinação inadequada desses equipamentos podem tomar proporções mundiais, pois os ciclos biogeoquímicos transportam os poluentes para todos os lados, uma vez que ar, água e solo são os responsáveis pela dispersão dos mesmos.

Ou seja, um processo danoso realizado no Brasil pode impactar outras regiões e países do globo, como acontece com a questão do aquecimento global, devido aos buracos na camada de ozônio, que afetam todo o globo e não apenas os países que contribuíram significativamente para a sua formação.

Em relação à disposição e tratamento desses materiais pode-se observar a diversidade de impactos que esses produtos podem trazer a saúde do ser humano e ao meio ambiente, uma vez que as três práticas mais utilizadas, exportação, incineração e disposição em aterros, causam graves problemas ambientais e sociais quando realizadas fora das normas para as duas últimas.

Este fato se agrava, pois a maioria dessas soluções são aplicadas sem a devida infraestrutura para que esses materiais não entrem em contato com os meios bióticos ou abióticos. Outro problema é o fato desses contaminantes terem grande resistência no meio natural afetando tanto os seres vegetais como os animais, o que pode, indiretamente, atingir o ser humano de outras formas, a partir do contato ou consumo desses alimentos.

Apesar de todas as barreiras apontadas neste estudo os resultados mostram que a aplicação da ACV no ciclo produtivo do microcomputador pessoal e portátil pode trazer benefícios para o meio ambiente e a sociedade, assim como fornecer suporte para as empresas, devido ao fato do processo de reciclagem não trazer prejuízos para as mesmas a médio e longo prazo.

Assim, pode-se afirmar que a instalação de uma planta de reciclagem de produtos eletrônicos no Brasil é viável, uma vez que o indicador utilizado apresenta um tempo aceitável para o retorno do capital investido, considerando também a retirada de pró labore mensal dos sócios durante esse período.

Aliado a isso, tem-se que o Brasil possui tecnologia suficiente, ou meios adequados, para se destinar mais de 90% dos computadores pessoais, em peso bruto, para a reciclagem, seja no próprio país com a maioria dos componentes, ou em alguns países desenvolvidos com as placas eletrônicas.

Por fim, analisando o fluxograma apresentado, é possível verificar que o sistema de Manufatura Reversa é capaz de receber e reaproveitar esses equipamentos, uma vez que é possível realizar seu mapeamento além do fluxo desses materiais.

A adaptação da Manufatura Reversa depende diretamente da eficiência na LR, uma vez que o planejamento para a operação dos sistemas produtivos em cima das incertezas em termos de quantidade e qualidade dos produtos retornados dificulta sua implantação nas empresas. Assim, uma distribuição adequada da LR também é importante para que a ACV tenha grandes resultados em termos econômicos e ambientais.

Assim, o conhecimento das ferramentas que auxiliam na busca do desenvolvimento sustentável é imprescindível para o sucesso na sua aplicação, como as questões apresentadas no TBL, os parâmetros direcionados pelas legislações nacionais e a Norma ISO, os conceitos a respeito de todo o processo de produção e recuperação dos produtos eletrônicos delineados pela ACV e a P+L e a sintonia necessária entre os processos de Manufatura, LR e Manufatura Reversa.

Estes conceitos contribuem para que o ciclo de desenvolvimento de um produto forme de fato um ciclo onde as matérias primas, em grande parte, para um sistema de produção sejam fornecidas pelo próprio sistema, seja com parceiros empresariais ou não, reduzindo a extração dos recursos naturais do meio ambiente.

Embora as legislações já estejam buscando responsabilizar os produtores pelos produtos obsoletos, a grande mudança para o sucesso no retorno desses materiais passa pela mudança cultural nos países, além de incentivos para que as empresas busquem produzir novos equipamentos com materiais reciclados, e os consumidores busquem comprar esses equipamentos em detrimento dos produtos que utilizam apenas matérias primas “cruas”.

Por fim, em busca de um entendimento da evolução desse processo, os estudos realizados mostram a importância de se pensar na ecoeficiência e naecoinovação, onde os produtos sejam pensados, na fase de elaboração, na sua recuperação e tratamento, antes mesmo de entrar no processo de produção, buscando a troca de seus contaminantes e a definição dos designs que facilitem sua reciclagem, assim como é realizado por algumas empresas do ramo eletroeletrônico.

5.1 Propostas para Pesquisas Futuras

Serão apresentadas a seguir algumas propostas de estudos relativos ao tema que complementam o que foi estudado neste projeto de pesquisa:

- Estudo sobre a Avaliação do Ciclo de Vida de todo o processo de manufatura dos produtos eletrônicos;
- Avaliação do Ciclo de Vida dos processos de manufatura e manufatura reversa voltados para a sua eficiência energética;
- Aplicação prática da metodologia da Produção mais Limpa (P+L) no processo de manufatura reversa;
- Estruturação da Logística Reversa para o reaproveitamento dos componentes eletrônicos no Brasil;
- Proposta de um modelo para a aplicação da ferramenta da ACV com base nos conceitos da P+L e o TBL; e
- Uma análise aprofundada em relação a ecoeficiência do tratamento dos produtos eletrônicos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **IDC - Panorama Econômico e Desempenho Setorial**. 2013.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10004. **Resíduos Sólidos – Classificação**. 2004.
- AIZAWA H.; YOSHIDA H.; SAKAI S. I. **Current results and future perspectives for Japanese recycling of home electrical appliances**. *Res Conserv Recycl*, 52, 1399 – 410, 2008.
- AKSOY, H.K., GUPTA, S.M. **Buffer allocation plan for a remanufacturing cell**. *Computers & Industrial Engineering*, 48, 657 – 677, 2005.
- ANDEL, T. **Reverse logistics: A second chance to profit**. *Transportation and Distribution*, 38, 61 – 64, 1997.
- ANDREOLA, F.; BARBIERI, L.; CORRADI, A.; LANCELLOTTI, I. **CRT glass state of the art. A case study: recycling in ceramic glazes**. *Journal of the European Ceramic Society*, 27, 1623 – 1629, 2007.
- APPELBAUM, A. **Europe cracks down on e-waste**. *IEEE Spectr*, 39, 5, 46 – 51, 2002.
- ASSAVAPOKEE, T.; WONGTHATSANEKORN, W. **Reverse production system infrastructure design for electronic products in the state of texas**. *Computers & industrial engineering*, 62, 129 – 140, 2012.
- BAN e SVTC – The Basel Action Network and Silicon Valley Toxics Coalition. **Exporting Harm: The High-Tech Trashing of Asia**. BAN, Seattle, WA and SVTC, San Jose, CA, 2002. *Disponível em: <http://www.ban.org/E-waste/technotrashfinalcomp.pdf>*. Acesso em: 22 de junho de 2013.
- BARBA-GUTIERREZ, Y.; ADENSO-DIAZ, B.; HOPP, M. **An analysis of some environmental consequences of European electrical and electronic waste regulation**. *Res Conserv Recycling*, 52, 481 – 495, 2008.
- BARBOSA, G. S. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. *Revista Visões*, 4, 4, 1, 2008.
- BELL, C. G. NEWELL, A. **Computer Structures: Readings and Examples**. New York - McGraw-Hill. 92 – 119, 1971.
- BERTO, R. M. V. S.; NAKANO, D. N. **A produção científica nos anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa**. *Produção*, 9, 2, 65 – 76, 2000.

- BEVILACQUA, M., CIARAPICA, F.E., GIACCHETTA, G. **Development of a sustainable product lifecycle in manufacturing: a case study.** *International Journal of Production Research*, 45, 4073 – 4098, 2007.
- BOOM, R.; STEFFEN, R. **Recycling of scrap for high quality steel products.** *Steel res*, 72, 3, 91 – 96, 2001.
- BREBU, M.; BHASKAR, T.; MURAI, K.; MUTO, A.; SAKATA, Y.; UDDIN, M. A. **The individual and cumulative effect of brominated flame retardants and polyvinylchloride (PVC) on thermal degradation of acrylonitrile-butadiene styrene (ABS) copolymer.** *Chemosphere*, 56, 433 – 440, 2004.
- BRESNAHAN T.F., MALERBA F. **Industrial Dynamics and the Evolution of Firms and Nations Competitive Capabilities in the World Computer Industry**, in D. Mowery and R.Nelson (ed) *The Sources of Industrial Leadership* Cambridge University Press, 1999.
- BUSHEHRI, F.I. **UNEP's role in promoting environmentally sound management of e-waste.** *5th ITU Symposium on ICTs, the Environment and Climate Change* Cairo, Egypt, 2010.
- CANGEMI, J.M.; SANTOS, A.M. DOS; CLARO NETO, S. **Biodegração: uma alternativa para minimizar os impactos decorrentes dos resíduos plásticos.** *Química Nova Escola*. 2005.
- CARLSON, R. **A primavera silenciosa.** Ed. Gaia, 2010.
- CARTER, C. R.; ROGERS, D. S. **A framework of sustainable supply chain management: Moving toward new theory.** *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 38, 360 – 387, 2008.
- CASTEL, A. D., PRATT, J., CHASTEEN, A. L., SCIALFA, C. T. **Examining task difficulty and the time course of inhibition of return: Detecting perceptually degraded targets.** *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 59, 90 – 98, 2005.
- CEA – Consumer Electronics Association. **US Consumer Electronics Sales and Forecast, 2003-2008.** 2008. Disponível em: <http://www.cea.org/Research/Products-Services/Industry-Sales-Data.aspx>. Acesso em: 20 de Janeiro de 2013.
- CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **PmaisL.** Disponível em: <http://www.cebds.org.br/cebds/eco-pmais-rede-brasileira.asp>. Acesso em: 06 de Janeiro 2014.
- CHERUBINI, F.; BARGIGLI, S.; ULGIATI, S. **Life cycle assessment of urban waste management: energy performances and environmental**

- impacts.** The case of Rome, Italy. *Waste Management*, 28, 2552 – 2564, 2008.
- CHERUBINI, F.; BARGIGLI, S.; ULGIATI, S. **Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration.** *Energy*, 34, 2116 – 2123, 2009.
- CHUNG, S. W.; MURAKAMI-SUZUKI, R. **A comparative study on e-waste recycling system in Japan, South Korea and Taiwan from the EPR perspective: implications for developing countries.** In: Kojima, M. (Ed.), *Promoting 3 Rs in developing countries: lessons from Japanese experience. Institute of developing economics*, 125 – 145, 2008.
- CLUB OF ROME. *Disponível em:* <http://www.clubofrome.org/?p=375>. Acesso em 11 de Março de 2012.
- CMMAD – Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento. **Our Common Future.** Assembleia Geral, 1987.
- CNTL – Centro Nacional de Tecnologias Limpas. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa.** SENAI, UNIDO, INEP, 42, Porto Alegre, 2003.
- CUDDINGTON, J. T. **An analogy between secondary and primary metals production.** *Resources Policy*, 33, 48 – 49, 2008.
- CUI J. R.; ZHANG L. F. **Metallurgical recovery of metals from electronic waste: a review.** *J Hazard Mater*, 158, 228 – 256, 2008.
- CURRAN, M. A. **The status of LCA in the USA.** LCA Research Program Manager, US Environmental Protection Agency, *Int. J. LCA*, 4, 3, 1999.
- DAT, L. Q.; LINH, D. T. T.; CHOU, S. Y.; YU, V. F. **Optimizing reverse logistic costs for recycling end-of-life electrical and electronic products.** *Expert Systems with Applications*, 39, 6380 – 6387, 2012.
- DAWSON, R. B.; LANDRY, S. D.; RANKEN, P. **Updates on end-of-life safety regulatory aspects for flame retarded plastics used in electrical and electronic equipment.** GPEC, Detroit MI, 2004.
- DE BOER, J. **Brominated flame retardants in the environment – the price for our convenience?** *Environmental Chemistry*, 1, 81 – 85, 2004.
- DEKKERS, R. ; CHANG, C. M. ; KREUTZFELDT, J. **The interface between “product design and engineering” and manufacturing: A review of the literature and empirical evidence.** *Int. J. Production Economics*, 144, 316–333, 2013.
- DENG, W. J.; LOUIE, P. K. K.; LIU, W. K.; BI, X. H.; FU, J. M.; WONG, M. H. **Atmospheric levels and cytotoxicity of PAHs and heavy metals in**

TSP and PM2.5 at an electronic waste recycling site in southeast China. *Atmos Environ*, 40, 6945 – 6955, 2006.

Dicionário Aurélio. *Disponível em:* <http://www.dicionariodoaurelio.com/Computador.html> Acesso em: 12/04/2013.

DOMINGOS, J. F. **Análise de ecoeficiência em um processo de moldagem plástica com adição de material reciclado em uma empresa do segmento automotivo.** Dissertação de Mestrado, Uninove, 2013.

DOWLATSHAHI, S. **Developing a theory of reverse logistics.** *Interfaces*, 30, 3, 143 – 155, 2000.

DUAN,H.; EUGSTER, M.; HISCHIER, R.; STREICHER-PORTE, M.; LI, J. **Life cycle assessment study of a chinese desktop personal computer.** *Science of the total environment*, 407, 1755 – 1764, 2009.

ELKINGTON, J. **Cannibals with forks: the triple bottom line of the 21st century.** New Society Publishers, Stoney Creek, 1998.

EPA – Environmental Protection Agency, Region IX. **Computers, E-Waste, and Product Stewardship: Is California Ready for the Challenge.** Report for the United States, 13, 2001.

EPA – Environmental Protection Agency. **Monitor of the electronics recycling issues. CRT glass to CRT glass recycling.** *Materials for the Future Foundation*, Report for the United States, 2001. *Disponível em:* <http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/reduce/wstewise/pubs/g2gfinal.pdf>. Acesso em: 26 de Abril de 2013.

ERIKSSON, P.; JAKOBSSON, E. **Brominated flame retardants: a novel class of developmental neurotoxins in our environment.** *Environmental Health Perspectives*, 109, 903 – 908, 2001.

EUROPEAN COMMISSION-WEEE DIRECTIVE. **Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE).** Brussels, Belgium: European Commission; 2003.

FERNANDES, J. V. G ; GONÇALVES, E. ; ANDRADE, J. C. S. ; KIPERSTOK, A. **Introduzindo práticas de produção mais limpa em sistemas de gestão ambiental certificáveis: uma proposta prática.** *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, 06, 03, 157-164, 2001.

FERNANDEZ , I. **Análisis de la logística inversa en el entorno empresarial. Uma aproximación cualitativa.** Universidad de Oviedo, Espanha, 2005.

- FERRAZ, J. M. G. **As dimensões da Sustentabilidade e seus indicadores**. In: L. A. Skorupa J. F. Marques, J. M. G. Ferraz. . Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas. Jaguariúna, SP, EMBRAPA, 17-35, 2003.
- FINNVEDEN, G.; HAUSCHILD, M. Z.; EKVALL, T. GUINE´E, J.; HEIJUNGS, R.; HELLWEG, S.; KOEHLER, A. PENNINGTON, D.; SUH, S. **Recent developments in Life Cycle Assessment**. *Journal of Environmental Management*, 91, 1 – 21, 2009.
- FISHER, M. M.; MARK, F. E.; KINGSBURY, T.; VEHLLOW, J.; YAMAWAKI, T. **Energy recovery in the sustainable recycling of plastic from end-of-life electrical and electronic products**. International symposium on electronics and the environment, 2005.
- FLICK, U. **Uma introdução a pesquisa qualitativa**. 2ª Ed., Porto Alegre, Bookman, 2004.
- GEO4 – Global Environmental Outlook. **Environment for development**. 2007.
- GIMENEZ, C. ; SIERRA, V. ; RODON, J. **Sustainable operations: Their impact on the triple bottom line**. *Int. J. Production Economics*, 140, 149 – 159, 2012.
- GODOY, A. S. **Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades**. *Revista de administração de empresas*, São Paulo, 35, 2, 57 – 63, 1995.
- GREENPEACE. *Disponível em: <http://www.greenpeace.org/portugal/pt-greenpeace/historia-da-greenpeace>*. Acesso em: 24 de Março de 2012.
- GREENPEACE. **Recycling of electronic wastes in China and India: workplace and environmental contamination**. Exeter, UK. Technical note 09/2005, 1, 2005. *Disponível em: <http://www.greenpeace.org/raw/content/china/en/press/reports/recycling-ofelectronic-wastes.pdf>*. Acesso em: 10 de junho de 2013.
- GROTE, C. A., JONES, R. M., BLOUNT, G. N., GOODYER, J., SHAYLER, M. **An approach to the EU Directive and the application of the economic eco-design for complex products**. *International Journal of Production Research*, 45, 4099 – 4117, 2007.
- GUGIK, G. **A história dos computadores e da computação**. *Disponível em: www.tecmundo.com.br/1697-A-Historia-dos-computadores-e-da-computacao.htm*. Publicado em: 06 de Março de 2009. Acesso em: 20 de Março de 2013.

- GUIDE, V. D. R., JR.; WASSENHOVE, L. N. **Managing product returns for remanufacturing.** *Production and Operations Management*, 10, 2, 142 – 155, 2001.
- HE, W. et al. **WEEE recovery strategies and the WEEE treatment status in China.** *Journal of Hazardous Materials B*, 136, 502 – 512, 2006.
- HICKS, C., DIETMAR, R., EUGSTER, M. **The recycling and disposal of electrical and electronic waste in China-legislative and market responses.** *Environmental Impact Assessment Review*, 25, 459 – 471, 2005.
- HINCKELDEYN, J. ; DEKKERS, R. ; KREUTZFELDT, J. **Application of production management principles to engineering processes: an explorative study.** Proceedings of the IEEE international conference on industrial engineering and engineering management, Macau, 2010.
- HIRSCH, B. E.; KUHLMANN, T.; SCHUMACHER, J. **Logistics simulation of recycling networks.** *Computers in Industry*, 36, 31 – 38, 1998.
- HISCHIER, R.; WAGER, P.; GAUGLHOFER, J. **Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective? The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE).** *Environmental Impact Assessment Review*, 25, 525 – 539, 2005.
- HORVATH, P.; AUTRY, C.; WILCOX, W. **Liquidity implications of reverse logistics for retailers: a Markov chain approach.** *Journal of Retailing*, 81, 2, 191 – 203, 2005.
- HRIBERNIK, K. A.; STIETENCRON, M. V.; HANS, C.; THOBEN, K. D. **Intelligent products to support closed-loop Reverse Logistics.** 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Braunschweig, 2011.
- HUANG, G. Q. **Design for X: Concurrent Engineering Imperatives.** Chapman & Hall, London, UK, 1996.
- HUISMAN J. et al. **Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE).** Bonn, United Nations University, 2008.
- HUISMAN, J. **Weee recast: from 4kg to 65%: the compliance consequences (expert opinion report on weee recast).** United Nations University. Bonn, Germany. Disponible em: <http://www.weee-forum.org>. Weee forum Brussels, 2010.
- HUO, X.; PENG, L.; XU, X.; ZHENG, L.; QIU, B.; QI, Z.; ZHANG, B.; HAN, D.; PIAO, Z. **Elevated blood lead levels of children in Guiyu, an**

electronic waste recycling town in China. *Environ Health Perspect*, 115, 7, 1113 – 1117, 2007.

IAKOVOU, E.; MOUSSIOPOULOS, N.; XANTHOPOULOSA A.; ACHILLAS CH.; MICHAILEDIS N.; CHATZIPANAGIOTI M. KORONEOSB C.; BOUZAKISD K. D.; KIKISE V. **A methodological framework for end-of-life management of electronic products.** *Elsevier Journal*. 2009. Acesso em: 26 de Janeiro de 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio.** 2013.

IBM – International Business Machine Corporation. **A history of progress.** 2008. Disponível em: http://www03.ibm.com/ibm/history/interactive/-ibm_history.pdf. Acesso em: 20 de Janeiro de 2013.

ILCD – International Reference Lyfe Cycle Handbook. **General guide for life cycle assessment – detailed guidance.** JRC European Comission, Primeira edição, 2010.

ILCD – International Reference Lyfe Cycle Handbook. **The international reference life cycle data system.** JRC European Comission, JRC Reference Reports, 2012.

ILGIN, M. A.; GUPTA, S. M. **Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): A review of the state of the art.** *Journal of Environmental Management*, 91, 563 – 591, 2010.

INDERFURTH, K.; VAN DER LAAN, E. **Leadtime effects and policy improvement for stochastic inventory control with remanufacturing.** *International Journal of Production Economics*, 71, 381 – 390, 2001.

IPCCa – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.** Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report, 2007.

IPCCb – Intergovernmental Panel on Climate Change. **The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.

ISO 14040 – International Organisation for Standardisation. **Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.** Geneva, 1997.

ISO 14041 – International Organisation for Standardisation. **Environmental management – Life cycle assessment – Goal and scope definition and Inventory analysis.** Geneva, 1998.

- ISO – International Organization for Standardization. **The ISO Survey of ISO 9000 and ISO 14000 Certificates**. ISO Central Secretariat, Geneva, 2011. *Disponível em:* <http://www.iso.org/iso/home/standards/certification/iso-survey.htm?certificate=ISO%209001&countrycode=AF>. *Acesso em:* 16 de Novembro de 2013.
- ITU – International Telecommunication Union. **Measuring the information society**. *Place des nations*, Geneva, Suíça, 2012.
- JASPER, F. **Curitiba Inicia Reciclagem de Geladeiras**. *Jornal Gazeta do Povo*, 2009.
- JAYARAMAN, V.; GUIDE, V. D. R. JR.; SRIVASTAVA, R. **A closed-loop logistics model for remanufacturing**. *Journal of the Operational Research Society*, 50, 5, 497 – 508, 1999.
- JAYARAMAN, V. **Production planning for closed-loop supply chains with product recovery and reuse: An analytical approach**. *International Journal of Production Research*, 44, 5, 981 – 998, 2006.
- JOHANNESBURG. *Disponível em:* http://www.johannesburgsummit.org/html/basic_info/basicinfo.html. *Acesso em:* 29 de Março de 2012.
- KAHHAT, R.; KIM, J.; XU, M.; ALLENBY, B.; WILLIAMS, E.; ZHANG, P. **Exploring e-waste management systems in the United States**. *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 955 – 964, 2008.
- KANG, H. Y.; SCHOENUNG, J. M. **Electronic waste recycling: A review of U.S. infrastructure and technology options**. *Resources, Conservation and Recycling*, 45, 368 – 400, 2005.
- KASASSI, A.; RAKIMBEI, P.; KARAGIANNIDIS, A.; ZABANIOTOU, A.; TSIΟΥVARAS, K.; NASTIS, A.; TZAFEIROPOULOU, K. **Soil contamination by heavy metals: measurements from a closed unlined landfill**. *Bioresource technology*, 99, 8578 – 8584, 2008.
- KELLER, M. **Assessment of gold recovery processes in Bangalore, India and evaluation of an alternative recycling path for printed wiring boards: a case study**. Tese de Doutorado: Institute for Spatial and Landscape Planning, Regional Resource Management at the ETH Zurich, 2006.
- KIBERT, C. J. **Sustainable construction: green building design and delivery**. Hoboken, NJ, John Wiley and Sons, 2008.
- KIDDEE, P.; NAIDU, R.; WONG, M. H. **Electronic waste management approaches: An overview**. *Waste Management*, 33, 1237 – 1250, 2013.

- KIM, K., SONG, I., KIM, J., JEONG, B. **Supply planning model for remanufacturing system in reverse logistics environment.** *Computers & Industrial Engineering*, 51, 279 – 287, 2006.
- LADOU, J.; LOVEGROVE, S. **Export of electronics equipment waste.** *Journal of Occup Environ Health*, 14, 1 – 10, 2008.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, elaboração, análise e interpretação dos dados.** 5ª Ed., São Paulo, Atlas, 2002.
- LAMBERT, D. M. ; GARCIA-DASTUGUE, S. J. ; CROXTON, K. L. **An evaluation of process oriented supply chain management frameworks.** *Journal of Business Logistics*, 26, 1, 25 – 51, 2005.
- LAZAREVIC, D.; Aoustin, E.; BUCLET, N.; BRANDT, N. **Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective.** *Elsevier Journal, Resources, Conservation and Recycling*, 55, 246 – 259, 2010.
- LEE, D. H.; DONG, M. **A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery.** *Transportation Research Part E*, 44, 455 – 474, 2008.
- LEUNG, A.O.W., CHAN, J.Y., XING, G., XU, Y., WU, S., WONG, C.C., LEUNG, C.M., WONG, M. **Body burdens of polybrominated diphenyl ethers in childbearing-aged, women at an intensive electronic-waste recycling site in China.** *Environmental Science and Pollution Research*, 17, 1300 – 1313, 2010.
- LIN, K. L.; CHANG, W. K.; CHANG, T. C.; LEE, C. H.; LIN, C. H. **Recycling thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) waste glass produced as glass–ceramics.** *Journal of Cleaner Production*, 17, 1499 – 1503, 2009.
- LINO, H. F. C. **A indústria da reciclagem e a questão ambiental.** Tese de Doutorado, USP, São Paulo, 2011.
- LINTON, J.; YEOMANS, J.; YOOGALINGAM, R. **Supply planning for industrial ecology and remanufacturing under uncertainty: A numerical study of leaded-waste recovery from television disposal.** *The Journal of the Operational Research Society*, 53, 1185 – 1196, 2002.
- LIU, X.; TANAKA, M.; MATSUI, Y. **Electrical and electronic waste management in China: progress and the barriers to overcome.** *Waste Manage Res*, 24, 1, 92 – 101, 2006.

- LOBO, Y. R. O. **Propostas de metodologias de concepção e projeto do produto considerando os aspectos ambientais no ciclo de vida.** Tese de Doutorado, Unicamp, 2000.
- LÖFGREN, B.; TILLMAN, A. M.; RINDE, B. **Manufacturing actor's LCA.** *Journal of Cleaner Production*, 19, 2025 – 2033, 2011.
- MAHESHWARI, R. K.; RANI, B.; SINGH, U. **Dribble of E-Waste: It's Impact on Human Health & Management Strategies for Sustainable Development.** *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences*, 1, 2, 03 – 16, 2013.
- MARX-GOMEZ, J., RAUTENSTRAUCH, C., NURNBERGER, A., KRUSE, R. **Neuro-fuzzy approach to forecast returns of scrapped products to recycling and remanufacturing.** *Knowledge-Based Systems*, 15, 119 – 128, 2002.
- MASANET, E.; HORVATH, A. **Assessing the benefits of design for recycling for plastics in electronics: a case study of computer enclosures.** *Materials and Design*, 28, 1801 – 1811, 2007.
- MÉAR, F.; YOT, P.; CAMBON, M.; RIBES, M. **The characterization of waste cathode-ray tube glass.** *Waste Management*, 26, 1468 – 1476, 2006.
- MEDEIROS, D. D.; CALÁBRIA, F. A.; SILVA, G. C. S.; FILHO, J. C. G. S. **Aplicação da Produção mais Limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua.** *Produção*, 17, 1, 109-128, 2007.
- MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P.; NAKANO, D. N.; LIMA, E. P.; LIMA, E. P.; TURRIONI, J. B.; HO, L. L.; MORABITO, R.; MARTINS, R. A.; SOUSA, R.; COSTA, S. E. G.; PUREZA, V. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** *Elsevier*, 2, São Paulo, 2012.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. *Disponível em:* <http://www.mma.gov.br/política-de-resíduos-sólidos>. *Acesso em:* 22 de Outubro de 2013.
- MOREIRA, J. L. M. **Da ecologia ao novo ambientalismo.** Recanto das Letras. 2007. *Disponível em:* <http://recantodasletras.uol.com.br/artigos/652315>. *Acesso em:* 16 de Março de 2012.
- MORF, L. S.; TREMP, J.; GLOOR, R.; SCHUPPISSER, F.; STENGELE, M.; TAVERNA, R. **Metals, non-metals and PCB in electrical and electronic waste — actual levels in Switzerland.** *Waste Management*, 27, 1306 – 1316, 2007.

- MOSTAGHEL, S.; SAMUELSSON, C. **Metallurgical use of glass fractions from waste electric and electronic equipment (WEEE)**. *Waste Management*, 30, 140 – 144, 2010.
- NNOROM, I.C.; OSIBANJO, O. **Overview of electronic waste (e-waste) management practices and legislations, and their poor applications in the developing countries**. *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 843 – 858, 2008.
- OGUCHI, M.; MURAKAMI, S.; SAKANAKURA, H.; KIDA, A.; KAMEYA, T. **A preliminary categorization of end-of-life electrical and electronic equipment as secondary metal resources**. *Waste Management*, 31, 2150 – 2160, 2011.
- NNOROM, I.C.; OSIBANJO, O. **Sound management of brominated flame retarded (BFR) plastics from electronic wastes: state of the art and options in Nigeria**. *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 1362 – 1372, 2008.
- OGUCHI, M.; SAKANAKURA, H.; TERAZONO, A.; TAKIGAMI, H. **Fate of metals contained in waste electrical and electronic equipment in a municipal waste treatment process**. *Waste Management*, 32, 96 – 103, 2012.
- OGUCHI, M.; SAKANAKURA, H.; TERAZONO, A. **Toxic metals in WEEE: Characterization and substance flow analysis in waste treatment processes**. *Science Total Environmental*, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.07.078>. Acesso em: 20/04/2013.
- OLIVEIRA, O. J.; SERRA, J. R.; SALGADO, M. H. **Does ISO 14001 work in Brazil?** *Journal of Cleaner Production*, 18, 1797 – 1806, 2010.
- ONU – Organização das Nações Unidas. **The Future We Want**. Rio + 20, 2012.
- PNUMA - Programa das Nações Unidas pelo Meio Ambiente. **Recycling: From E-waste to resources**. Relatório anual, 2009.
- PRALLINSKI, C.; KOCABASOGLU, C. **Empirical research opportunities in reverse supply chains**. *Omega*, 34, 6, 519 – 532, 2006.
- POKHAREL, S. MUTHA, A. **Perspectives in reverse logistics: A review**. *Resources, Conservation and Recycling*, 53, 175 – 182, 2009.
- RAVI, V.; SHANKAR, R. **Analysis of interactions among the barriers of reverse logistics**. *Technological Forecasting and Social Change*, 72, 8, 1011 – 1029, 2005.
- REVISTA EXAME. **Os 15 países que mais emitem GEE e esquentam o planeta**. 2012. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/meio-ambiente-e->

energia/noticias/os-15-paises-que-mais-poluem-e-esquentam-o-planeta#4. Acesso em: 15 de março de 2013.

- ROBICHAUD, L. B.; ANANTATMULA, V. S. **Greening project management practices for sustainable construction.** *J Manage Eng.*, 27, 1, 48 – 57, 2010.
- ROBINSON, B.H. **E-waste: An assessment of global production and environmental impacts.** *Science of the Total Environment*, 408, 183 – 191, 2009.
- ROGERS, D.S., TIBBEN-LEMBKE, R.S. **Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices.** *Reverse Logistics Executive Council*, Pittsburgh, PA, 1999.
- ROGERS, D. S., & TIBBEN-LEMBKE, R. S. **An examination of Reverse Logistics practices.** *Journal of business logistics*, 22, 2, 129 – 148, 2001.
- ROMAN, L. S.; PUCKETT, J. **E-scrap exportation: challenges and considerations.** Proceedings of the International Symposium on Electronics and the Environment, 79 – 84, 2002.
- SARKIS, J.; TALLURI, S. **Ecoefficiency measurement using data envelopment analysis: research and practitioner issues.** *Journal of environmental assessment policy & management*, 6, 91 – 123, 2004.
- SCHARNHORST, W.; HILTY, L. M.; JOLLIET, O. **Life cycle assessment of second generation (2g) and third generation (3g) mobile phone networks.** *Environmental int*, 32, 5, 656 – 675, 2006.
- SCHLUMMER, M.; MÄURER, A.; LEITNER, T.; SPRUZINA, W. **Report: recycling of flame-retarded plastics from waste electric and electronic equipment (WEEE).** *Waste Management and Research*. 24, 573 – 583, 2006.
- SCHLUMMER, M.; GRUBER, L.; MAURER, A.; WOLZ, G.; VAN ELDIK, R. **Characterization of polymer fractions from waste electric and electronic equipment (WEEE) and implications for waste management.** *Chemosphere*, 67, 1866 – 1876, 2007.
- SCHMIDT, M. A. **Production-Theory-Based Framework for Analysing Recycling Systems in the E-Waste Sector.** *Environ. Impact Assess*, 25, 505 – 524, 2005.
- SILVA, F. M. S.; ALVES, R. F. S.; XAVIER, L. H.; CARDOSO, R. S. **Gestão de resíduos eletroeletrônicos: proposta para implementação de sistema de logística reversa de refrigeradores no Brasil.** Universidade Federal de Pernambuco, 3º Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Resíduos, 2010.

- SMITH, T. **Poison PCs and Toxic TVs: California's biggest environmental crisis that you've never heard of.** Silicon Valley Toxics Coalition, 1999.
- SPALVINS, E.; DUBEY, B.; TOWNSEND, T. **Impact of electronic waste disposal on lead concentrations in landfill leachate.** *Environmental Science Technology*, 42, 7452 – 7458, 2008.
- STARIK, M.; RANDS, G.P. **Weaving an integrated web: multilevel and multisystem perspectives of ecologically sustainable organizations.** *Academy of Management Review*, 20, 4, 908 – 935, 1995.
- STAVRULAKI, E., DAVIS, M. **Aligning products with supply chain processes and strategy.** *The International Journal of Logistics Management*, 21, 1, 127 – 151, 2010.
- STEP – Solving de e-waste problem. **E-waste WorldMap.** 2013. *Disponível em:* <http://www.step-initiative.org/index.php/WorldMap.html>. *Acesso em:* 08 de Janeiro de 2014.
- STOCK, J.R. **Reverse Logistics.** Council of Logistics Management, White Paper, Oak Brook, IL, 1992.
- SWICO Recycling. **Activity Report, Hardturmstrasse, 2011.** *Disponível em:* http://www.openideo.com/open/e-waste/inspiration/the-swissmodel-gallery/swico_tb2011_web_en.pdf/. *Acesso em:* 10 de abril de 2013.
- TANSKANEN, P. **Management and recycling of electronic waste.** *Acta Materialia*, 61, 1001 – 1011, 2013.
- UMEDA, Y. ; TAKATA, S.; KIMURA, F. ; TOMIYAMA, T. ; SUTHERLAND, J. W. ; KARA, S. ; HERRMANN, C. ; DUFLOU, J. R. **Toward integrated product and process life cycle planning – An environmental perspective.** *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61, 681–702, 2012.
- UMICORE. **Precious Metals Refining.** *Disponível em:* <http://www.umicore.com.br/nossosNegocios/recycling/pmr/sucataeletronica/> . *Acesso em:* 18 de Outubro de 2013.
- UNEP – United Nations Environment Programme. **E-waste, the hidden side of IT equipment's manufacturing and use.** 2005.
- UNEP – United Nations Environment Programme. **Guidelines for Social Life Cycle Assessment of products.** 2009.
- UNEP – United Nations Environment Programme. *Disponível em:* http://www.unep.org.br/noticias_detalhar.php?id_noticias=1090. *Acesso em:* 18 de Março de 2012.

- UNEP – United Nations Environment Programme. *Disponível em:* <http://www.unep.org/>. Acesso em: 26 de Março de 2012.
- UNIDO - United Nations Industrial Development Organization. **Manual on the development of cleaner productions policies: approaches and instruments**. Viena, 141, 2002. *Disponível em:* www.unido.org. Acesso em: 04 de Janeiro de 2014.
- VATALIS, K. I.; MANOLIADIS, O.; CHARALAMPIDES, G.; PLATIAS, S.; SAVVIDIS, S. **Sustainability components affecting decisions for green building projects**. *Procedia Economics and Finance*, 5, 747 – 756, 2013.
- VEERAKAMOLMAL, P., GUPTA, S.M. **Design for disassembly, reuse and recycling**. Goldberg, L. (Ed.), *Green Electronics/Green Bottom Line: Environmentally Responsible Engineering*. Butterworth-Heinemann, 69 – 82, 2000.
- VIDAL, R.; MARTÍNEZ, P.; GARRAÍN D. **Life cycle assessment of composite materials made of recycled thermoplastics combined with rice husks and cotton linters**. *Springer, Verlag*, 2008.
- YANG, X.; LUSHI SUN, L.; XIANG, J.; HU, S.; SU, S. **Pyrolysis and dehalogenation of plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE): A review**. *Waste Management*, 33, 462 – 473, 2013.
- YIN, R. K. **Estudo de caso – planejamento e método**. 2ª Ed., São Paulo, Bookman, 2001.
- YOSHIDA, A.; TASAKI, T.; TERAZONO, A. **Material flow of used PCs in Japan**. *Proceedings of the 2007 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*. IEEE, 46 – 51, 2007.
- WALLEY, N.; WHITEHEAD, B. **It's not easy being green**. *Harvard Business Review*, 72, 3, 46-52, 1994.
- WANG, J. P.; GUO, X. K. **Impact of electronic wastes recycling on environmental quality**. *Biomed Environmental Science*, 19, 137 – 142, 2006.
- WCED – World Commission on Environment and Development. **Our Common Future**. Oxford University Press, Oxford, 1987.
- WERNER, E. M.; BACARJI, A. G.; HALL, R. F. **Produção Mais Limpa: Conceitos e Definições Metodológicas**. SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2009.
- WIDMER, R., OSWALD-KRAPF, H., SINHA-KHETRIWAL, D., SCHNELLMANN, M., BONI, H. **Global perspectives on e-waste**. *Environmental Impact Assessment Review*, 25, 436 – 458, 2005.

- WILLIAMS, J.A.S. **A review of electronics demanufacturing processes.** *Resources, Conservation and Recycling*, 47, 195 – 208, 2006.
- WONG, C. S. C.; DUZGOREN-AYDIN, N. S.; AYDIN, A.; WONG, M. H. **Evidence of excessive releases of metals from primitive e-waste processing in Guiyu, China.** *Environmental Pollution*, 148, 62 – 72, 2007.
- WWF – World Wide Fund For Nature. *Disponível em:* <http://www.worldwildlife.org/what/communityaction/people/partneringwith/WWFBinaryitem6053.pdf>. *Acesso em:* 13 de Março de 2012.
- ZACCAI, E. **Over two decades in pursuit of sustainable development: Influence, transformations, limits.** *Environmental Development*, 1, 79–90, 2012.
- ZUO, J. ZHAO, Z. **Green building research: current status and future agenda: A review.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 271 – 281, 2014.