

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS - PPGEPS**

KATIANE COLDIBELI

**MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS SUSTENTÁVEIS
A PARTIR DO USO DO LIXO ELETRÔNICO**

**CURITIBA
2013**

KATIANE COLDIBELI

**MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS SUSTENTÁVEIS
A PARTIR DO USO DO LIXO ELETRÔNICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas Área de concentração: Gestão de Operações, da Escola Politécnica, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador: Osiris Canciglieri Junior, Ph.D.

CURITIBA

2013

KATIANE COLDIBELI

**MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS SUSTENTÁVEIS
A PARTIR DO USO DO LIXO ELETRÔNICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas Área de concentração: Gestão de Operações, da Escola Politécnica, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Osiris Canciglieri Junior, Ph.D. (PPGEPS – PUCPR)
Orientador

Prof. Jaime Ramos, Dr. (PUCPR)
Membro interno

Prof. Miriam Borchardt, Dra. (UNISINOS)
Membro externo

Curitiba, _____ de _____ de 2013.

Não fui eu que lhe ordenei? Seja forte e corajoso! Não se apavore, nem se desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar".

Josué 1:9

*À minha filha, Pietra,
minha motivação diária.
Ao meu esposo, Eder, pelo
incentivo e companheirismo.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu refúgio e consolo nos momentos mais difíceis.

À minha filha Pietra, minha dádiva e razão dos meus dias felizes.

Ao meu esposo, Eder, pelo incentivo e por prover nossa família em tudo o que precisamos.

Aos meus pais, pelo apoio e carinho, durante a realização deste projeto.

Às minhas irmãs, pela grande ajuda ao longo do projeto.

Ao meu orientador, Professor Osiris Canciglieri Júnior, Ph.D., pela orientação, incentivo e amizade, durante a realização deste projeto.

À Pontifícia Universidade Católica do Paraná e ao PPGEPS pela oportunidade.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Com o avanço da tecnologia, o consumo de materiais e recursos energéticos no mundo industrializado e em desenvolvimento, bem como o descarte de produtos, tem aumentado de forma preocupante. Os produtos elétricos e eletrônicos são considerados um problema, devido a sua rápida obsolescência, bem como à quantidade de materiais tóxicos presentes em sua composição. Nos últimos anos a pressão política e da sociedade como um todo com relação à preservação dos recursos naturais, bem como o interesse por produtos ligados à sustentabilidade, por parte dos clientes, têm demonstrado que cada vez mais, torna-se necessário que os produtos sejam desenvolvidos visando o menor impacto ambiental possível em todas as fases do seu ciclo de vida. Neste sentido, visando à redução dos impactos ambientais causados pelo descarte de equipamentos elétricos e eletrônicos este estudo tem como objetivo propor um método para o desenvolvimento de produtos sustentáveis a partir do uso de partes presentes no lixo eletrônico. Para justificar esta pesquisa, foi elaborada uma pesquisa bibliográfica a respeito do desenvolvimento sustentável, dos modelos tradicionais de processo de desenvolvimento de produtos, das estratégias e métodos mais utilizados no desenvolvimento de produtos sustentáveis, dos dados a respeito do descarte dos equipamentos elétricos e eletrônicos e das políticas ambientais adotadas para minimizar os impactos causados por esses produtos. Com base nos dados coletados, é proposto o Método de Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis a partir do uso do Lixo Eletrônico, que indica os passos a serem seguidos para a concepção de produtos sustentáveis reutilizando partes do lixo eletrônico. A utilização do método foi exemplificada através de estudo de caso aplicado a três produtos presentes no lixo eletrônico. Os resultados alcançados evidenciam que a utilização do método pode trazer resultados bastante satisfatórios no que diz respeito à funcionalidade e estética dos produtos concebidos, além da potencial redução dos resíduos eletrônicos no meio ambiente.

Palavras-chave: Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis. Ferramentas DFE. Ecodesign. Lixo Eletrônico.

ABSTRACT

With technological advances, the consumption of materials and power resources in industrialized and in developing countries, as well as the waste of products, has increased alarmingly. Electric and electronic devices are considered a problem due to their fast obsolescence and the amount of toxic materials used in their manufacture. In recent years, political and social pressure for preserving natural resources, as well as customers' interest in products connected to sustainability, has shown that it is necessary that products be developed aiming for the least impact on the environment at all stages of their life cycle. In this sense, aiming for the reduction in the environmental impact caused by the waste of electric and electronic equipment, this study intends to propose a method for the development of sustainable products by using pieces of devices found in electronic waste. In order to substantiate this study, a bibliographic research was conducted on sustainable development, traditional methods of product development process, common strategies and methods used in the development of sustainable products, data concerning the waste of electric and electronic equipment, and the environmental policies used to minimize the impacts caused by those products. Considering the collected data, the Method of Development of Sustainable Products from Electronic Waste is proposed, which indicates the steps to be taken in order to create sustainable products that reuse pieces of electronic waste. The use of the method was exemplified through a case study applied to three products found in electronic waste. The obtained results show that the use of the method may bring results which are quite satisfactory when it comes to the functionality and aesthetics of the developed products, with the addition of the potential reduction of electronic residue in the environment.

Key words: Development of Sustainable Products. DFE Tools. Ecodesign. Electronic Waste.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2 MOTIVAÇÃO	14
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.4 OBJETIVOS	15
1.5 JUSTIFICATIVA	15
1.6 METODOLOGIA	17
1.7 ESTRUTURA DO DOCUMENTO	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	21
2.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS (PDP)	23
2.2.1 Desenvolvimento ou Processo de Projeto	24
2.2.1.1 Projeto informacional	25
2.2.1.2 Projeto conceitual	28
2.2.1.3 Projeto de configuração	31
2.3 O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS SUSTENTÁVEIS	34
2.3.1 Ciclo de vida dos produtos	35
2.3.1.1 O projeto do ciclo de vida (Life Cycle Design – LCD)	36
2.3.2 Ferramentas utilizadas no desenvolvimento de produtos sustentáveis	38
2.3.3 Avaliação do Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment – LCA)	43
2.4 LIXO ELETRÔNICO	45
2.4.1 Composição do lixo eletrônico	46
2.4.2 Conteúdo do lixo eletrônico	48
2.4.3 Toxicidade dos materiais	51
2.4.4 Processos de reciclagem de lixo eletrônico	55
2.4.5 Reutilização do lixo eletrônico	58
2.5 POLÍTICAS AMBIENTAIS	64
3 MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS SUSTENTÁVEIS A PARTIR DO USO LIXO ELETRÔNICO	68
3.1 CICLO DE VIDA DOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS (ETAPA 1)	69
3.2 CICLO DE REAPROVEITAMENTO (ETAPA 2)	71
3.2.1 Lixo eletrônico (figura 16 - detalhe “D”)	71
3.2.2 Partes reutilizáveis (figura 16 - detalhe “D.1”)	72
3.2.3 Tratamento / limpeza (figura 16 - detalhe “D.1.1”)	72
3.2.4 Desenvolvimento de novos produtos sustentáveis (figura 16 - detalhe “D.1.1.2”)	73
3.2.4.1 Conceituação do produto / estratégias DFE (figura 19 – detalhe “D.1.1.2.1”)	74
3.2.4.2 Geração de ideias (figura 19 – detalhe “D.1.1.2.2”)	81
3.2.4.3 Desenvolvimento do protótipo (figura 19 – detalhe “D.1.1.2.3”)	81
3.2.5 Separação por categoria (figura 16 - detalhe “D.2”)	82
3.2.5.1 Reciclagem (figura 20 - detalhe “D.2.1”)	83
3.2.5.2 Resíduos (figura 20 - detalhe “D.2.2”)	84
4 APLICAÇÃO DA PROPOSTA DO MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS SUSTENTÁVEIS A PARTIR DO USO DO LIXO ELETRÔNICO POR MEIO DE ESTUDOS DE CASO	85

4.1 ESTUDO DE CASO 1 - MONITOR CRT.....	90
4.2 ESTUDO DE CASO 2 - MÁQUINA DE LAVAR ROUPAS.....	102
4.3 ESTUDO DE CASO 3 - MICROONDAS	121
5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	131
5.1 CONCLUSÃO	131
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	134

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sequência metodológica da pesquisa.....	19
Figura 2 – Processo de Desenvolvimento de Produtos.....	24
Figura 3 – Modelo da espiral de desenvolvimento	27
Figura 4 - Ciclo de vida segundo as atividades pelas quais passa o produto/processo	27
Figura 5 - Entradas e principais resultados da fase de configuração do projeto	32
2.2.1.4 Projeto detalhado	32
Figura 6 – Etapas do Projeto Detalhado	33
Figura 7 - Benefícios do DFE	39
Figura 8– Processo de reciclagem de WEEE em fim de vida	43
Figura 9 - Sofá desenvolvido a partir de geladeira e banco de carro	59
Figura 10 – Produtos a venda – Nicole Harper	60
Figura 11 – Produtos a venda - Naná Hayne	61
Figura 12 – Produtos - Naná Hayne.....	61
Figura 13 – Produtos – Yuma Fujimaki	62
Figura 14 – Produtos – Projeto: “Eu costumava ser uma máquina de lavar” - Antonina	63
Figura 15 – Produtos desenvolvidos a partir do lixo eletrônico - diversos.....	64
Figura 16 – Método de Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis a Partir do Uso do Lixo Eletrônico.....	68
Figura 17 – Equipamentos Elétricos e Eletrônicos	70
Figura 18 – Lixo eletrônico	72
Figura 19 – Etapas do desenvolvimento de novos produtos sustentáveis	74
Figura 20 – Detalhe da etapa “Separação por categorias” e seu desdobramento até destinação final do lixo eletrônico.....	83
Figura 21 – Detalhe da “Etapa 1 – Ciclo de vida dos EEE”	85
Figura 22 – Detalhe da “Etapa 2 – Ciclo de reaproveitamento do lixo eletrônico” ...	87
Figura 23 – Passos do ciclo de reaproveitamento do lixo eletrônico para o desenvolvimento dos estudos	88
Figura 24 – Monitor CRT	90
Figura 25 – Componentes do monitor CRT.....	91
Figura 26 – Nicho organizador (ideia 1)	93
Figura 27 – Nicho organizador inserido em um ambiente (ideia 1)	93
Figura 28 – Porta revistas (ideia 2)	94
Figura 29 – Casinha para gato (ideia 3)	94
Figura 30 – Componentes do porta revistas	96
Figura 31 – Proposta final – porta revistas.....	98
Figura 32 – Passo 2 – Reciclagem ou disposição final	100
Figura 33 – Máquina de lavar roupas.....	102
Figura 34 - Componentes da máquina de lavar roupas	103
Figura 35 – Partes reutilizáveis – máquina de lavar roupas.....	105
Figura 36 – Lixeira para condomínio e coletor de lixo eletrônico (Ideias 1 e 2).....	107
Figura 37 – Vaso de plantas, cama para cachorro ou gato e móvel multifuncional (Ideias 3, 4 e 5)	108
Figura 38 – Banqueta, Cabideiro e Mesinha de canto (Ideias 6, 7 e 8).....	109
Figura 39 – Componentes da lixeira para condomínio	111
Figura 40 – Proposta final – Lixeira para condomínio	112

Figura 41 – Componentes móvel multifuncional	114
Figura 42 – Proposta final – Móvel multifuncional	116
Figura 43 – Componentes mesinha de canto.....	118
Figura 44 – Proposta final - Mesinha de canto.....	119
Figura 45 – Forno microondas	122
Figura 46 – Componentes do forno microondas	122
Figura 47 – Criado mudo (Ideia 1)	125
Figura 48 – Aparador baixo (Ideia 2).....	125
Figura 49 – Armário aéreo (Ideia 3)	126
Figura 50 – Componentes armário aéreo.....	126
Figura 51 – Proposta final – Armário aéreo.....	127

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Fases de desenvolvimento de produtos sob a visão de diversos autores	25
Quadro 2 – Estratégias de Life Cycle Design.....	38
Quadro 3 – Ferramentas DFX ligadas aos fundamentos do desenvolvimento de produtos sustentáveis e do DFE	40
Quadro 4 – Fases da LCA.....	45
Quadro 5 – Categorias do lixo eletrônico e produtos compreendidos	47
Quadro 6 - Substâncias perigosas encontradas no lixo eletrônico.....	52
Quadro 7 – Estratégia DFE - Minimização dos recursos e Escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental	77
Quadro 8 – Estratégia DFE – Otimização da vida dos produtos	78
Quadro 9 – Estratégia DFD – Facilitação da desmontagem	79
Quadro 10 – Recomendações atendidas e práticas adotadas nas estratégias ambientais - Porta Revistas	99
Quadro 11 – Materiais presentes nos componentes da máquina de lavar.....	103
Quadro 12 – Recomendações atendidas e práticas adotadas nas estratégias ambientais - Lixeira para condomínio.....	113
Quadro 13 – Recomendações atendidas e práticas adotadas nas estratégias ambientais – Móvel multifuncional	117
Quadro 14 – Recomendações atendidas e práticas adotadas nas estratégias ambientais – Mesinha de canto.....	120
Quadro 15 – Materiais presentes nos componentes do forno microondas	123
Quadro 16 – Recomendações atendidas e práticas adotadas nas estratégias ambientais – Armário aéreo	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de cada componente constituinte do lixo eletrônico em alguns equipamentos	49
Tabela 2 – Porcentagem de materiais presentes na composição de EEE.....	49
Tabela 3 – Quantidades de metais presentes no telefone celular.....	50
Tabela 4 – Impacto de telefones e PCs na demanda de metais baseado nas vendas globais de 2007.	50
Tabela 5 – Massa dos principais componentes do monitor CRT	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAL	Associação Brasileira do Alumínio
ABIVIDRO	Associação técnica Brasileira da Indústria de Vidro
A x L x P	Altura x Largura x Profundidade
ABS	Acrylonitrile butadiene styrene
Ag	Prata
Au	Ouro
BFR	Brominated flame retardants
Cd	Cádmio
Co	Cobalto
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
CRT	Cathode Ray Tube
Cu	Cobre
D x A	Diâmetro x Altura
DFA	Design for Assembly
DFC	Design for Cost
DFD	Design for Disassembly
DFE	Design for Environmet
DFM	Design for Manufacturability
DFMA	Design for Manufacturing and Assembly
DFR	Design for Recycling
DFX	Design for X
EPR	Extended Producer Responsibility
g	Gramma
Hg	Mercúrio
In	Índio
Kg	Quilograma
LCA	Life Cycle Assessment
LCD	Life Cycle Design
MDF	Medium Density Fibreboard
Pb	Chumbo
PBB	Polybrominated biphenyls
PBDE	Polybrominated diphenyl ethers

PC	Personal Computer
Pd	Paládio
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produtos
PEM	Proton exchange membrane
PS	Poliestireno
Pt	Platina
PVC	Polyvinyl chloride
QFD	Quality Function Deployment
RoHS	Restriction of Hazardous Substances
Ru	Rutênio
Sb	Antimônio
Se	Selênio
Sn	Estanho
SSC	Sistemas, Subsistemas e Componentes
Te	Telúrio
UNEP	United Nations Environment Programme
UV	Ultravioleta
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O desenvolvimento sustentável tornou-se um assunto de grande interesse devido à preocupação da sociedade em geral com a escassez dos recursos para as gerações futuras. Nos últimos anos a pressão política e da sociedade como um todo com relação à preservação dos recursos naturais, bem como o interesse dos clientes por produtos mais sustentáveis, tem demonstrado o quão essencial tornou-se este tema. De acordo com dados da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente (1991), o desenvolvimento sustentável visa um equilíbrio entre as dimensões econômica, social e ambiental e, ressalta a importância de que sejam atendidas as necessidades do presente sem que se comprometa a capacidade das gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades.

De acordo com Huang (1996), no passado, não se dava grande atenção aos impactos ambientais causados pelo processo de desenvolvimento de produtos, já que a manufatura e as questões ambientais eram tratadas de forma independente. Se há alguns anos a preocupação com os requisitos ambientais no desenvolvimento de produtos era considerada prejuízo para as empresas, atualmente, é vista como um diferencial para a competitividade, de acordo com Tu e Hsu (1999) com a escassez dos recursos naturais torna-se cada vez maior a necessidade da utilização de métodos que venham a auxiliar no desenvolvimento de produtos sustentáveis. Neste sentido, a prática do Ecodesign, em vez de ser vista como um obstáculo pode ser considerada uma oportunidade para a empresa, tendo em vista a crescente conscientização dos consumidores em relação à necessidade de redução dos impactos ambientais causados pelos produtos. Além disso, as leis de proteção ambiental estão cada vez mais rigorosas, assim, os produtos devem corresponder às exigências de proteção ambiental para serem aceitos no mercado.

Com o avanço da tecnologia o consumo de materiais e recursos energéticos aumenta assustadoramente no mundo industrializado e em países em desenvolvimento e, para que este progresso continue, sem interferir no fornecimento de recursos para as gerações futuras, torna-se necessário o desenvolvimento de

produtos de fácil recuperação e reciclagem possibilitando seu uso em seus diversos ciclos (KUMAR *et al.*, 2005).

De acordo com Puckett *et al.* (2002) a maior fabricação de produtos no mundo industrializado provém da indústria eletrônica e, conseqüentemente, tornou-se a maior geradora de resíduos, devido à combinação do seu rápido crescimento com a rapidez com que os produtos tornam-se obsoletos.

Os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos são considerados um problema crescente devido à quantidade de materiais tóxicos presentes em sua composição (PUCKETT *et. al.*, 2002). Os equipamentos como televisores, computadores, telefones celulares, impressoras, notebooks, entre outros, vieram para facilitar o cotidiano das pessoas e tornaram-se indispensáveis para a realização de diversos trabalhos, porém, com a evolução da tecnologia, esses produtos tornam-se obsoletos rapidamente, gerando seu descarte e substituição por novos aparelhos, com novas funções, design, etc.

O lixo eletrônico é relativamente recente e vem recebendo uma atenção crescente por parte das autoridades políticas. É importante ressaltar que o lixo eletrônico é diferente dos resíduos urbanos tradicionais, pois contém substâncias altamente tóxicas que representam grande risco para a saúde humana e o meio ambiente, porém, matérias-primas encontradas nesses aparelhos contêm materiais valiosos que podem ser recuperados (KHETRIWAL, KRAEUCHI e WIDMER, 2009). Segundo Widmer *et.al.* (2005), a quantidade de metais valiosos como ferro, cobre, alumínio, ouro e outros metais no lixo eletrônico é mais de 60%, enquanto que poluentes, compreendem 2,7%.

Neste contexto, esse projeto visa propor um método para o desenvolvimento de produtos sustentáveis através do uso do lixo eletrônico, visando à reutilização de partes de equipamentos elétricos e eletrônicos descartados. **É importante ressaltar que nos estudos realizados para a aplicação do método proposto, não foi explorada a viabilidade econômica (custos) do projeto.**

1.2 MOTIVAÇÃO

Devido à acelerada evolução da tecnologia, há uma necessidade desenfreada de se adquirir cada vez mais produtos, já que ela proporciona, em um curto espaço de tempo, o lançamento de produtos cada vez mais atraentes e com novas funções.

Os equipamentos elétricos e eletrônicos são alterados rapidamente, seja na sua funcionalidade ou na sua estética, com isso, o seu ciclo de vida torna-se cada vez menor. Toneladas de equipamentos elétricos e eletrônicos, como celulares, computadores, brinquedos, entre outros, são descartados anualmente. Esses equipamentos possuem diversos tipos de metais, plástico etc que não podem ser misturados ao lixo comum, pois, podem causar sérios danos à saúde e ao ambiente (SCHLUEPA *et al.*, 2009; PUCKETT *et. al*, 2002).

Além do problema referente ao descarte dos produtos em seu fim de vida, também é preocupante a questão da escassez dos recursos naturais, já que são utilizados materiais valiosos na fabricação desses produtos, além dos recursos energéticos. Isso afetará de forma negativa o fornecimento de recursos para as gerações futuras (KHETRIWAL, KRAEUCHI e WIDMER, 2009).

De acordo com uma pesquisa realizada pela Federação Brasileira de Bancos (FEBRABAN) (2007), os consumidores estão cada vez mais exigentes no que diz respeito à sustentabilidade dos produtos, já que 89% dos consumidores preferem itens ligados à sustentabilidade e 98% dos brasileiros trocariam de fornecedor se um produto fosse certificado.

Diante disso, é possível perceber, que apesar da grande oferta de produtos e da rápida obsolescência dos mesmos, os consumidores têm demonstrado preocupação com relação aos impactos que isso pode causar, ansiando por soluções para tal problema e, buscando alternativas de produtos mais sustentáveis.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

Diante do contexto descrito anteriormente, o problema a ser desenvolvido nessa pesquisa é: ***“Como o processo de desenvolvimento de produtos sustentáveis pode contribuir para a minimização dos impactos ambientais causados pelo descarte***

incorreto de equipamentos elétricos e eletrônicos através do uso dos materiais inclusos no lixo eletrônico?”

1.4 OBJETIVOS

Com base nas considerações anteriores o objetivo geral desta pesquisa é propor um método que possibilite o desenvolvimento de produtos sustentáveis através do uso dos materiais provenientes do descarte de equipamentos elétricos e eletrônicos. Para que este objetivo seja atingido, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Estudar o desenvolvimento sustentável voltado para a concepção de produtos;
- b) Estudar os modelos tradicionais de Processo de Desenvolvimento de Produtos, analisando suas diferentes abordagens e estruturas;
- c) Identificar as estratégias e métodos mais utilizados no desenvolvimento de produtos sustentáveis e analisar as etapas do ciclo de vida dos produtos, bem como, ilustrar como o projeto do ciclo de vida pode contribuir para o processo de desenvolvimento de produtos sustentáveis;
- d) Realizar levantamento da quantidade de lixo eletrônico produzida no processo de descarte dos equipamentos elétricos e eletrônicos e apresentar as políticas ambientais adotadas atualmente pelos governantes para minimizar os impactos do descarte desses produtos;
- e) Exemplificar o método proposto através de estudos de caso.

1.5 JUSTIFICATIVA

Atualmente, o consumo de recursos naturais e a geração de resíduos aumentam de forma preocupante. A maior fabricação de produtos no mundo industrializado provém da indústria eletrônica e, como consequência, tornou-se a

maior geradora de resíduos, devido à combinação do seu rápido crescimento com a rapidez com que os produtos tornam-se obsoletos. No início os governantes de várias partes do mundo, ignoraram o problema, porém, o lixo eletrônico começou a atingir proporções desastrosas e países industrializados em todo o mundo estão começando a encarar o problema buscando implementar técnicas/métodos para tentar reduzir os impactos ambientais desde o desenvolvimento do produto até o seu fim de vida (PUCKETT *et al.*, 2002).

O lixo eletrônico é considerado um tipo diferente de resíduo por possuir diversos componentes, muitos deles, altamente nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, além de ter alto consumo e grande descarte em curtos períodos de tempo (PUCKETT *et. al.*, 2002). Anualmente são geradas toneladas de lixo eletrônico proveniente de aparelhos celulares, computadores, televisores, impressoras, refrigeradores, entre outros, isso devido às rápidas mudanças na tecnologia, agregação de novas funções aos aparelhos e melhorias na estética, fato que faz com que o ciclo de vida desses produtos torne-se cada vez mais curto (SCHLUEPA *et al.*, 2009; PUCKETT *et. al.*, 2002).

O lixo eletrônico contém metais valiosos como o cobre, o alumínio e o ouro. Por outro lado, possui metais com alto índice de contaminação ambiental como chumbo, mercúrio e níquel e, por esse motivo, exige tratamento especial para sua reciclagem e/ou recuperação de partes (SCHLUEPA *et al.*, 2009).

Boa parte do lixo eletrônico é descartada em aterros sanitários contaminando o solo e a água, ou são enviados para países pobres, onde as legislações são menos rigorosas e o lixo é reciclado por meio de técnicas primitivas que não respeitam a segurança do trabalhador, nem o meio ambiente (ROBINSON, 2009).

Com o alto descarte desses produtos e, devido à complexidade de sua composição, tornou-se necessário encontrar soluções para se reduzir a quantidade desses resíduos na natureza e, seguindo uma das recomendações de Manzini e Vezzoli (2002) que priorizam a reutilização do produto ou de partes dele, ao invés de partir diretamente para a reciclagem ou disposição final, uma opção que pode trazer resultados positivos é a utilização de materiais descartados na produção de novos produtos.

Para que isso seja possível, é necessário que se desenvolva um método eficiente de reutilização, que indique os passos a serem seguidos para se chegar a

soluções de produtos sustentáveis a partir do uso de partes presentes no lixo eletrônico.

1.6 METODOLOGIA

Esta é uma pesquisa de natureza aplicada, pois, visa produzir conhecimentos para aplicação prática, voltada para a solução de problemas específicos. Utiliza-se da fundamentação teórica como orientação para estreitar a extensão dos fenômenos que serão investigados, dando continuidade com base em referências de análise dos dados, incorporada a uma metodologia que compreende os objetivos de pesquisa e o âmbito de investigação (NUNAN, 1997; MARCONI e LAKATOS, 2010).

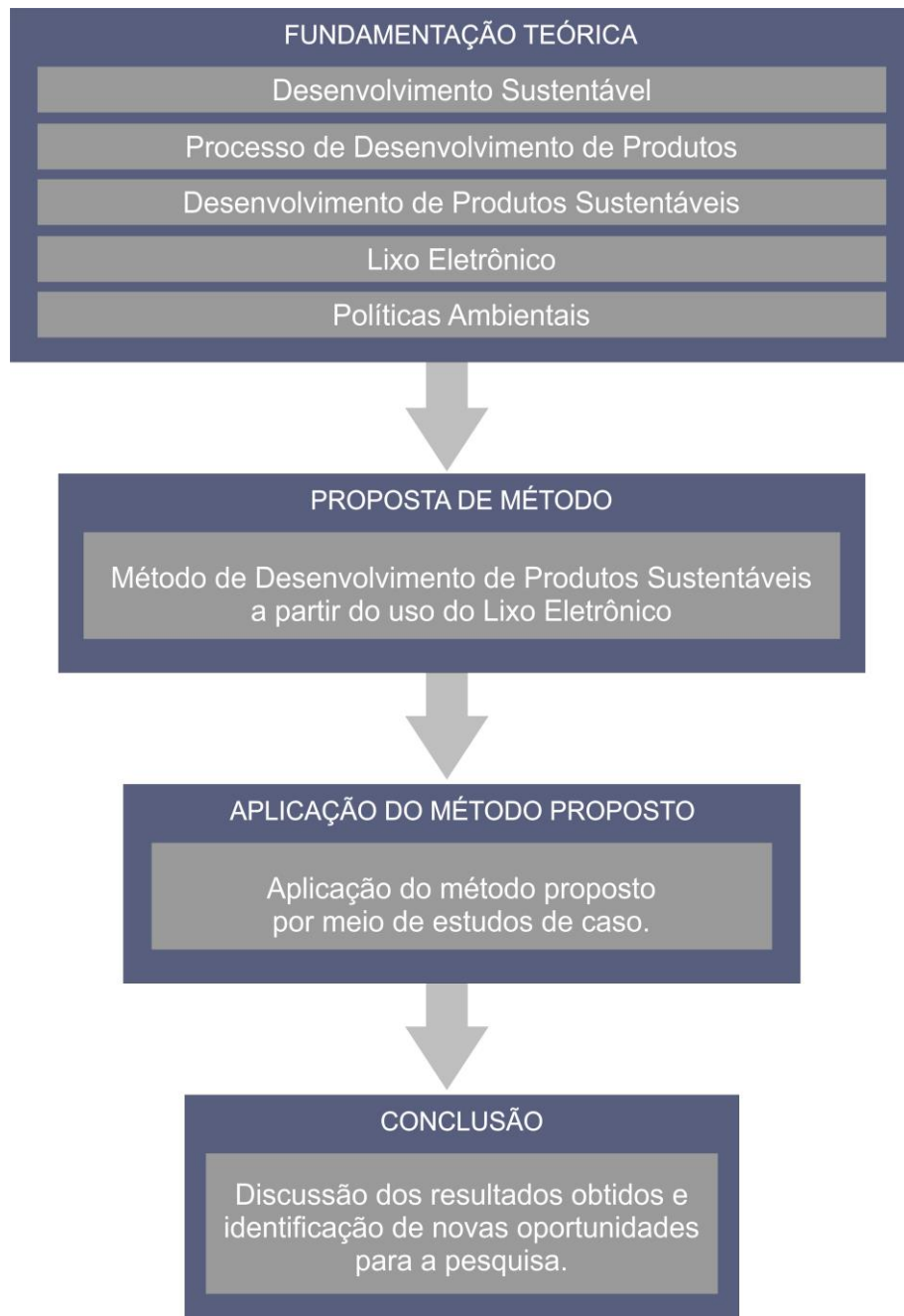
Possui abordagem qualitativa porque busca entender um fenômeno em profundidade, dando ênfase nos aspectos do indivíduo estudado (BRYMAN, 1989). Na pesquisa qualitativa um fenômeno pode ser percebido de forma superior no contexto em que ocorre e do qual é parte e, deve ser analisado num panorama integrado (GODOY, 1995). De acordo com Gray (2012) na pesquisa qualitativa busca-se entender de forma minuciosa um determinado fato, objeto ou grupo de pessoas, a fim de se obter informações relevantes e, com isso, explicar em profundidade o sentido do contexto onde está inserido o objeto de estudo. Seus objetivos científicos são de caráter exploratório, pois, buscam proporcionar maior familiaridade com o problema visando torná-lo claro ou a construir hipóteses.

Os procedimentos técnicos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa foram à pesquisa bibliográfica, pois, sua elaboração é construída a partir de materiais já publicados em livros, artigos científicos em periódicos e materiais disponibilizados na internet, que proporcionou o conhecimento necessário para a elaboração do modelo conceitual do Método de Desenvolvimento de Produtos sustentáveis a partir do uso do lixo eletrônico. Depois de desenvolvido o método, foi utilizada a técnica estudo de caso, que possui caráter empírico e busca explorar um fenômeno atual no contexto da vida real, levando em consideração que as barreiras entre o fenômeno e o contexto onde se introduzem não são explicitamente determinados (YIN, 2001). A aplicação desta técnica teve como objetivo exemplificar o método proposto, através da elaboração de três estudos. Os produtos (lixo eletrônico) foram selecionados com base na revisão da literatura que indica o tempo

médio para descarte dos mesmos, bem como nas opções as quais o autor conseguiu ter acesso para a desmontagem e pesagem dos componentes. Os estudos foram realizados com base em dados encontrados na revisão da literatura (estudo de caso 1), e através da desmontagem dos produtos e pesagem de seus componentes, em uma oficina de grandes eletrodomésticos (no estudo de caso 2) e em um depósito de lixo eletrônico (no estudo de caso 3). O método foi aplicado pelo próprio autor nos três estudos.

Diante disso, a Figura 1 ilustra as etapas do processo desta pesquisa, que tem como principal objetivo sugerir o Método de Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis a partir do uso do Lixo Eletrônico. No detalhe “A”, estão as etapas da fundamentação teórica, que visa entender o conceito de desenvolvimento sustentável, os processos de desenvolvimento de produtos, o desenvolvimento de produtos sustentáveis, o lixo eletrônico e as políticas ambientais. Concluída esta pesquisa, no detalhe “B” é proposto o Método de Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis a partir do uso do Lixo Eletrônico e, em seguida a sua aplicação por meio de estudos de caso, conforme o detalhe “C”. E, por fim, no detalhe “D” são apresentadas às conclusões sobre o estudo e as oportunidades futuras para a continuidade da pesquisa.

Figura 1 – Sequência metodológica da pesquisa



Fonte: o autor.

1.7 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Esta pesquisa é composta por cinco capítulos. No capítulo 2 é realizada a revisão da literatura onde é apresentado o conceito de desenvolvimento sustentável, os processos de desenvolvimento de produtos, o desenvolvimento de produtos sustentáveis, o lixo eletrônico e as políticas ambientais que estão sendo adotadas pelos governantes para minimizar os impactos desse lixo no meio ambiente. No capítulo 3 é apresentada a proposta conceitual do Método de Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis a partir do uso do Lixo Eletrônico. No capítulo 4 é apresentado o estudo de caso e os resultados conseguidos através da aplicação do método em três produtos (lixo eletrônico). E, por fim, no capítulo 5 são apresentadas as conclusões, bem como as recomendações para pesquisas futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo consiste do referencial teórico e é dividido em cinco temas, que são a base conceitual para o desenvolvimento dessa pesquisa. O primeiro tema a ser explorado é o Desenvolvimento Sustentável. O segundo trata dos conceitos do processo de desenvolvimento de produtos. O terceiro tema, diz respeito às estratégias e métodos mais utilizados no desenvolvimento de produtos sustentáveis. Já, o quarto tema, apresenta uma breve abordagem sobre o lixo eletrônico. E por fim, são apresentadas as principais políticas ambientais que estão sendo adotadas pelos governantes visando minimizar os impactos do descarte desses produtos.

2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu no início da década de 70, na época, chamado de Ecodesenvolvimento e, almejava um equilíbrio entre as dimensões social, ambiental e econômica. (ROMEIRO, 1999). Esse conceito surgiu durante a primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento em Estocolmo, resultando no Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e, deu origem oficialmente ao conceito de Desenvolvimento Sustentável (PEREIRA, 2009).

Diante da notoriedade do assunto, surge em 1987 o documento denominado “Nosso Futuro Comum” (*Our Common Future*), também conhecido como Relatório de *Brundtland*, que define o termo desenvolvimento sustentável como o suprimento das necessidades do presente sem que se comprometam às necessidades das gerações futuras. Isto engloba três esferas que precisam estar em harmonia: a ambiental, a econômica e a social. E, ressalta ainda, que desenvolvimento sustentável tem como objetivo manter o progresso humano em todo o planeta e até um futuro distante, devendo ser um objetivo a ser alcançado tanto pelas nações em desenvolvimento quanto pelas industrializadas (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1991).

De acordo com Griese *et al.* (2005) o objetivo do desenvolvimento sustentável consiste na preservação dos recursos naturais, na redução do impactos ambientais e na melhoria das condições de vida, saúde e educação em todo o mundo .

De acordo com Sachs (2004) os “pilares do desenvolvimento sustentável” são as dimensões: social, ambiental, econômica, territorial e política (nacional e internacional).

Segundo Manzini e Vezzoli (2002) quando se tem a sustentabilidade como foco, os requisitos ambientais devem ser prioritários, mas, para que um projeto possa ser considerado vitorioso, é necessário que seja economicamente executável e socialmente interessante, além de, dar atenção à redução dos impactos ambientais, em outras palavras, o desempenho do produto não pode ser afetado de forma negativa, em favor de melhorias ambientais, neste caso, os benefícios de um projeto sustentável torna-se ilusório. Ainda segundo os autores para que uma proposta seja considerada efetivamente sustentável, ela deve:

- a) ser centrada em recursos renováveis
- b) otimizar o emprego dos recursos não-renováveis, como por exemplo água, ar, território e energia;
- c) não acumular resíduos que o ecossistema seja incapaz de neutralizar;
- d) fazer com que as comunidades de sociedades prósperas continuem dentro de seus limites de espaço ambiental para que, desta forma, as comunidades de sociedades pobres possam desfrutar verdadeiramente do espaço ambiental ao qual têm direito.

Segundo Espinosa (1993), a operacionalização do desenvolvimento sustentável não é tarefa fácil, pois, além de tratar-se de um tema complexo há interesses estratégicos e econômicos ligados ao assunto que dificultam ainda mais sua prática. Para que o desenvolvimento sustentável seja possível é preciso se trabalhar no desenvolvimento de sistemas de gestão, que possibilitem a tomada de decisões mesmo diante dos problemas indicados.

No ano de 1992, durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, ocorrida no Rio de Janeiro, é validada a Agenda 21, que visa garantir a sustentabilidade mundial a partir do Século XXI. Esse é o documento mais abrangente resultante da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento e, possui 2.500 recomendações de estratégias de conservação do planeta e metas de exploração sustentável dos recursos naturais. (DIAS, 2006; PEREIRA, 2009).

Entre os mais graves problemas ambientais, atualmente, estão o esgotamento dos recursos não renováveis, a poluição atmosférica, a contaminação da água, dentre outros. Isso ocorre, devido a décadas de má gestão de recursos naturais, a expansão das atividades humanas em áreas que deveriam ser preservadas, além do desenvolvimento econômico sem elementos regulatórios que fiscalizassem seus excessos (MATTIODA *et al.*, 2012).

Em linhas gerais, o desenvolvimento sustentável se divide em três áreas: econômica, ambiental e social – os chamados pilares ou dimensões da sustentabilidade, também conhecidos como *triple bottom line* – sua definição está ligada com diversas questões, como a qualidade ambiental, a pobreza, o controle da população, a segurança, entre outros (HEIJUNGS *et al.*, 2010).

2.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS (PDP)

O desenvolvimento de produtos é fundamentado em um conjunto de atividades que busca satisfazer às especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção, para que a manufatura possa fabricá-lo. Essa busca ocorre a partir das necessidades do mercado e das possibilidades e limitações da tecnologia, levando-se em conta as estratégias competitivas e de produto da empresa. Outras atividades inerentes ao desenvolvimento de produtos são as de acompanhamento do produto posteriormente ao seu lançamento, para que seja possível o planejamento das etapas futuras (ROZENFELD *et al.*, 2006).

O PDP possui diversas particularidades quando comparado a outros processos de negócio. Diante disso, Rozenfeld *et al.* (2006) coloca como as principais características que tornam a natureza do PDP relativamente diferente dos demais processos da empresa, que são:

- a) alto grau de dúvidas e riscos das atividades e resultados;
- b) no início do processo, quando as incertezas são eminentes, é quando devem ser tomadas as decisões importantes;
- c) as decisões iniciais são difíceis de serem modificadas;
- d) as atividades fundamentais seguem um ciclo repetido, como: projetar (gerar alternativas) – construir – testar – otimizar;
- e) manejo e geração de grande quantidade de informações;

- f) as informações e atividades descendem de variadas fontes e áreas da empresa e da cadeia de suprimentos;
- g) diversidade de exigências a serem seguidas pelo processo, levando em consideração todas as fases do ciclo de vida do produto e seus clientes.

O PDP é dividido em macrofases, que são subdivididas em fases e atividades. As três macrofases são: Pré-Desenvolvimento ou planejamento, Desenvolvimento ou processo de projeto e Pós-Desenvolvimento ou implementação (ROZENFELD *et al.*, 2006 e BACK *et al.*, 2008). A macrofase “Desenvolvimento” será mais bem explorada nos próximos itens dessa pesquisa. A figura 2 ilustra as etapas do PDP.

Figura 2 – Processo de Desenvolvimento de Produtos



Fonte: Adaptado de Rozenfeld *et al.*, 2006, e Back *et al.*, 2008.

2.2.1 Desenvolvimento ou Processo de Projeto

O processo de projeto, também chamado de projeto do produto é composto de uma sequência de atividades que fazem com que um produto evolua de idéias abstratas para soluções concretas, ou seja, consiste em fases de definição, projeto, produção e lançamento e acompanhamento do produto. Nessa etapa as informações de mercado e de tecnologias são transformadas em descrições de engenharia de um produto técnica e economicamente viável (BACK *et al.*, 2008).

Como as opiniões divergem a respeito das fases de desenvolvimento de produtos, o quadro 1 mostra a visão de diferentes autores sobre essas fases:

Quadro 1 – Fases de desenvolvimento de produtos sob a visão de diversos autores

Autores	Fases					
	Desenvolvimento/Processo de Projeto				Pós Desenvolvimento/ Implementação	
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Fase 6
Baxter (2011)	Especificação do Projeto	Projeto Conceitual	Projeto de Configuração	Projeto Detalhado	Projeto para fabricação	
Back et al (2008)	Projeto Informacional	Projeto Conceitual	Projeto Preliminar	Projeto Detalhado	Preparação da Produção	Lançamento e validação
Rozenfeld et al (2006)	Projeto Informacional	Projeto Conceitual	Projeto Detalhado	Preparação da produção do produto	Lançamento do produto	Acompanhamento do produto e processo
Pahl e Beitz (1996)	Plano e esclarecimento da tarefa	Projeto Conceitual	Projeto Preliminar	Projeto Detalhado		
Ulrich e Eppinger (1995)	Desenvolvimento do conceito		Projeto Nível de Sistema	Projeto Detalhado	Testes e Melhorias	Produção e lançamento
Gruenwald (1994)	Busca de oportunidades	Concepção	Pesquisa e desenvolvimento do produto		Planejamento de Marketing	Teste de mercado e introdução
Ullman (1992)	Especificação	Projeto Conceitual	Projeto Detalhado		Manufatura	
Clausing (1994)	Conceito		Projeto		Preparação	Produção
Löbach (2001)	Preparação		Geração		Avaliação	Realização
Clark e Fujimoto (1991)	Geração de produto	Planejamento do Produto	Projeto do Produto	Projeto do processo	Produção-piloto	

Fonte: o autor.

Nessa pesquisa serão consideradas as visões de Rozenfeld *et. al.* (2006), Back *et. al.* (2008) e Baxter (2011) com relação às fases que compõe a etapa de desenvolvimento.

2.2.1.1 Projeto informacional

O projeto informacional, chamado por Baxter (2011) de fase de especificação do projeto tem como principal objetivo realizar as especificações de projeto, através de um documento que servirá como referência para o controle de qualidade do desenvolvimento do projeto. Além disso, pode ser utilizado como um guia pela equipe de projetos, para que nada passe despercebido ao longo do seu desenvolvimento. A primeira atividade desta etapa é descobrir as necessidades e desejos dos clientes em relação ao produto. Depois de elucidadas as necessidades do consumidor torna-se possível convertê-las em parâmetros técnicos, tendo como auxiliar o método QFD. Ainda segundo o autor, a especificação do projeto deve ser

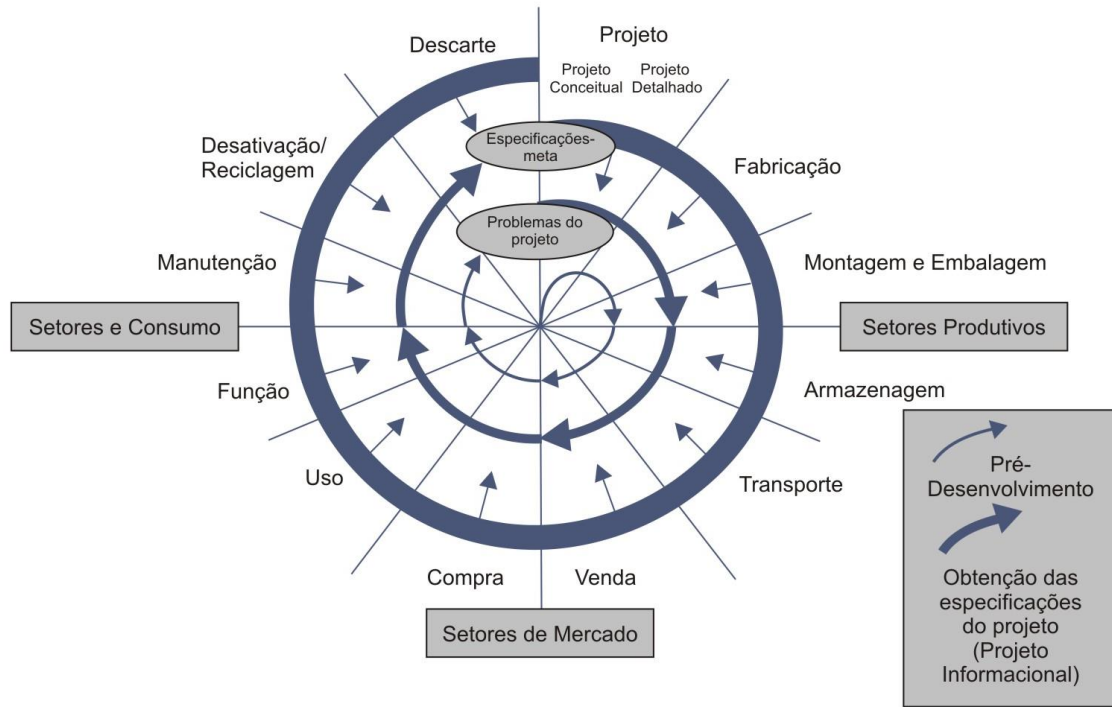
vista como uma hierarquia de necessidades e, para se chegar à especificação do projeto é necessário inicialmente se identificar os requisitos de desempenho dos projetos. Quatro etapas principais são seguidas na elaboração da especificação do projeto: levantamento de informações, especificação preliminar, revisão da especificação e a versão final da especificação. Para Pahl e Beitz (1996), esta fase é parte do planejamento e esclarecimento da tarefa.

Para Roosenburg e Eekels (1995), as especificações de projetos compreendem aspectos como validade e adequação aos objetivos, operacionalidade, precisão na quantidade de objetivos entre outros.

Segundo Fonseca (2000), Back *et al.* (2008) e Baxter (2011), a fase de especificação do projeto é extremamente importante, pois, serve como guia para os demais processos. As metas definidas ao longo do projeto informacional servirão de referência para a avaliação das fases subseqüentes.

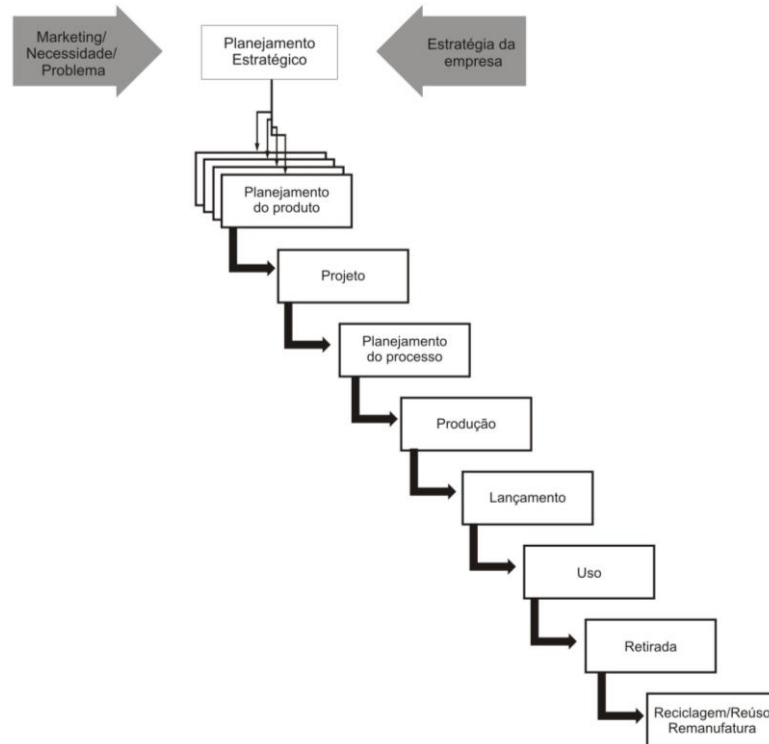
Segundo Coral, Ogliari e Abreu (2008), Back *et al.* (2008) e Rozenfeld *et al.* (2006) o objetivo principal do projeto informacional consiste na elaboração das especificações do projeto, que nada mais é do que a definição dos requisitos de projeto classificados e com valores-meta a serem atingidos. A primeira atividade dessa fase é a definição do ciclo de vida e particularidades do produto, levando em consideração a natureza do produto e do projeto. As particularidades que têm ligação com as diferentes fases do ciclo de vida contribuem para a descrição das características físicas, de forma, de materiais, de uso, de fabricação etc, conforme mostra a figura 3. As principais fases do ciclo de vida segundo as atividades pelas quais passa o produto/projeto são ilustradas na figura 4.

Figura 3 – Modelo da espiral de desenvolvimento



Fonte: Adaptado de Fonseca (2000).

Figura 4 - Ciclo de vida segundo as atividades pelas quais passa o produto/processo



Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

Em seguida são identificadas as necessidades dos usuários, através de entrevistas com usuários, questionários estruturados, histórico de reclamações de clientes entre outros. Com isso é feita a definição dos requisitos dos usuários e, a partir dela, a definição dos requisitos de projeto do produto que são os parâmetros mensuráveis agregados à descrição do desempenho esperado. Neste ponto entra a atividade de priorização dos requisitos de projeto, atividade, essa, realizada com a ajuda do QFD, utilizando a matriz de conversão ou “casa da qualidade”, método que permite converter as necessidades do consumidor em requisitos de projeto. Seus principais benefícios são: redução do número de mudanças de projeto; diminuição do ciclo de projeto, redução de reclamações de garantia, entre outros. E, a partir daí, são definidas as especificações-meta do produto, que são parâmetros quantitativos e mensuráveis que deverão ser encontrados no projeto do produto. Com isso, passa-se para a próxima etapa: o projeto conceitual. (CORAL, OGLIARI e ABREU, 2008; BAXTER, 2011 e ROZENFELD *et al.*, 2006).

2.2.1.2 Projeto conceitual

A fase de projeto conceitual tem como objetivo desenvolver concepções para o produto, ou seja, a equipe de projetos trabalha nas atividades relacionadas à busca, criação, representação e seleção de soluções para o problema de projeto. (CORAL, OGLIARI e ABREU, 2008 e ROZENFELD *et al.*, 2006).

A fase conceitual exige muita criatividade. É nela que são desenvolvidas as linhas formais e funcionais primárias que posteriormente, determinarão o conceito do produto, sempre com foco em atender as necessidades dos clientes, por esse motivo, é considerada umas das fases mais importantes do processo de projeto (BAXTER, 2011).

O projeto conceitual inicia-se com a definição da função global do produto, seguindo com a descrição de várias estruturas de funções do produto, para que, dessa forma, seja possível, selecionar a melhor opção. Isso ocorre através da modelagem funcional que descreve os produtos de forma abstrata para que convenções não influenciem de maneira negativa o processo criativo visando à proposta de novas soluções. A partir daí, inicia-se o desenvolvimento de princípios de solução para as funções, nessa fase, ocorre à transição do abstrato (função) para

o concreto (forma). Em seguida ocorre o desenvolvimento de alternativas de solução para o produto e, diante de um conjunto de concepções, as melhores são selecionadas, levando em consideração o momento atual e fazendo uma projeção dos momentos futuros. Concluídas essas atividades, deve ser iniciada a definição da arquitetura onde são exploradas várias formas e funções para cada componente, selecionando a melhor, para, em seguida, imaginar como será feita a fabricação de cada componente (CORAL, OGLIARI e ABREU, 2008; BAXTER, 2011 e ROZENFELD *et al* 2006).

Com a arquitetura definida devem-se analisar os sistemas, subsistemas e componentes, onde devem ser reconhecidos e analisados os pontos críticos percebidos no ciclo de vida do produto. Quando os impactos do ciclo de vida no projeto de produto não são considerados ou quando são feitas avaliações inoportunas a respeito, pode ocorrer a necessidade de reprojeto. Para auxiliar os projetistas a avaliar de forma mais detalhada os impactos do ciclo de vida concernentes a suas determinações de projeto, vários métodos e ferramentas de auxílio foram desenvolvidas. São as abordagens DFX (Design for X). O “X” representa várias ocorrências ao longo do ciclo de vida, como: qualidade, manufatura, produção ou meio ambiente. Juntamente com a análise dos SSC ocorre a definição dos aspectos ergonômicos e estéticos do produto. Para que então seja possível avançar para a definição de fornecedores e parcerias para co-desenvolvimento, fase que contribui para a melhora do desempenho do processo em termos de produtividade, velocidade e qualidade do produto, através do abarcamento de fornecedores no desenvolvimento do produto. Através das concepções geradas pelas atividades anteriores é feita a escolha do melhor conceito, a chamada fase de seleção da concepção do produto, que resultará no produto final, porém, nessa fase, as informações técnicas ainda são limitadas e abstratas, principal característica do projeto conceitual. Após definido o melhor conceito, é possível determinar o plano macro de processo, onde são selecionados possíveis processos de fabricação, que envolve diversos custos como: materiais, mão-de-obra, ferramentas, entre outros. Finalmente, chega-se ao plano de revisão da viabilidade financeira, que é a última fase do projeto conceitual. (CORAL, OGLIARI e ABREU, 2008 e ROZENFELD *et al*. 2006).

De acordo com Baxter (2011) o projeto conceitual exige intuição, imaginação e raciocínio lógico, porém com o uso de algumas técnicas, a quantidade de idéias pode aumentar consideravelmente o número de conceitos. O autor descreve três métodos de geração de conceito: a análise da tarefa, a análise das funções e a análise do ciclo de vida.

A análise da tarefa baseia-se em dois pontos importantes no desenvolvimento de produtos: a ergonomia e a antropometria. Na análise da tarefa são estudadas as interações entre o produto e seu usuário, através de observações e análises. Com os resultados dessas análises, é possível se gerar conceitos de novos produtos, visando à aplicação de métodos ergonômicos e antropométricos que permitirão uma melhora na interface usuário-produto (BAXTER, 2011).

A análise das funções do produto é uma técnica orientada para o consumidor. Quando se tem a análise completa das funções do produto, novos conceitos podem ser gerados, visando uma geração de alternativas de como determinada função pode ser realizada. Esta análise pode provocar inovações radicais¹ ou mudanças incrementais² (BAXTER, 2011).

E a análise do ciclo de vida é uma técnica analítica muito usada por designers que têm como objetivo a redução dos impactos ambientais no projeto do produto e, também pode ser usada na geração de novos conceitos. De acordo com o autor, esta análise deve ser feita em três etapas principais:

- a) Descrever o ciclo de vida do produto. Através dessa descrição pode-se identificar os materiais e energia que entram e saem do produto em cada fase de sua vida, bem como as transformações que ocorrem;
- b) Analisar cada etapa do processo. Com isso, busca-se identificar os objetivos de cada fase do ciclo de vida, bem como atribuir custos e valores a eles.
- c) Identificar a oportunidade para melhoria, tanto do ponto de vista ambiental, quanto do projeto em geral (BAXTER, 2011).

¹ As *inovações radicais* dizem respeito à criação de um produto completamente novo, fazendo com que a maneira como o produto é consumido seja drasticamente modificada (Baxter, 2011; Löbach, 2001).

² As *mudanças incrementais* são aquelas que inserem pequenas melhorias no produto, trazendo alguns novos benefícios para o consumidor, sendo que a forma como o produto é utilizado não é alterada de forma muito significativa (Baxter, 2011; Löbach, 2001).

2.2.1.3 Projeto de configuração

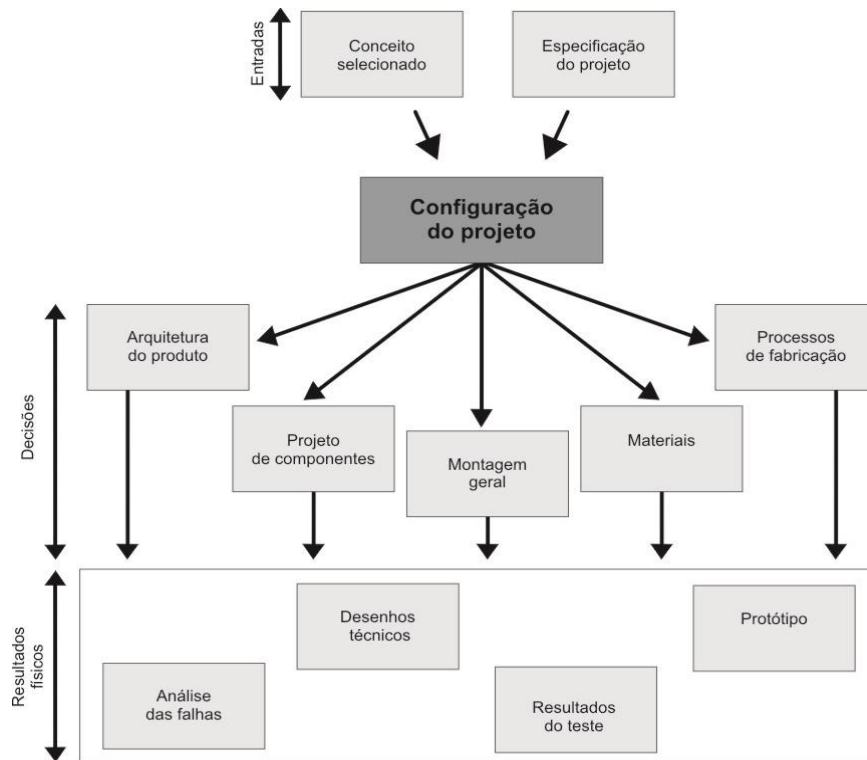
De acordo com Baxter (2001) existe uma etapa entre o Projeto Conceitual e o Projeto Detalhado, chamada de Configuração do Projeto. Esta etapa se inicia com o conceito definido e termina com o protótipo desenvolvido e testado. A configuração do projeto e o projeto detalhado ocorrem paralelamente, sendo que depois de obtidas as definições da configuração, dá-se início ao detalhamento do projeto.

A configuração do projeto compreende quatro fases: a geração de ideias, onde são exploradas todas as formas possíveis de se fabricar o produto; a seleção das ideias, onde se escolhe a melhor ideia com base nas especificações do projeto; análise das possibilidades de falha e seus efeitos, onde são observados os possíveis pontos de falha do produto; e a construção e teste do protótipo, onde o projeto é aprovado ou rejeitado.

É importante ressaltar que essas fases não ocorrem necessariamente nessa ordem, elas podem aparecer entrelaçadas e, algumas vezes, é necessário retroceder para melhorar um ponto que já foi avaliado anteriormente ou avançar, para conferir certos aspectos de desenvolvimento.

No final do processo de configuração deve-se definir a forma e função de cada componente, processo de montagem e os tipos de materiais e processos de fabricação a serem usados na produção. Os desenhos técnicos e os protótipos, bem como, a análise das falhas e os resultados dos testes realizados com os protótipos desenvolvidos devem aparecer no memorial descritivo do projeto. A figura 5 mostra as entradas e principais resultados da fase de configuração do projeto.

Figura 5 - Entradas e principais resultados da fase de configuração do projeto



Fonte: Baxter (2011).

2.2.1.4 Projeto detalhado

A fase de detalhamento do projeto consiste de todas as especificações do produto, para que, possa se chegar à manufatura e às demais fases do desenvolvimento.

De acordo com Baxter (2011) e Rozenfeld *et al* (2006) as fases de desenvolvimento podem não ocorrer de forma ordenada e sim de maneira integrada, muitas vezes é necessário voltar atrás para melhorar algo que já foi investigado na fase anterior, ou avançar para observar alguns aspectos do desenvolvimento.

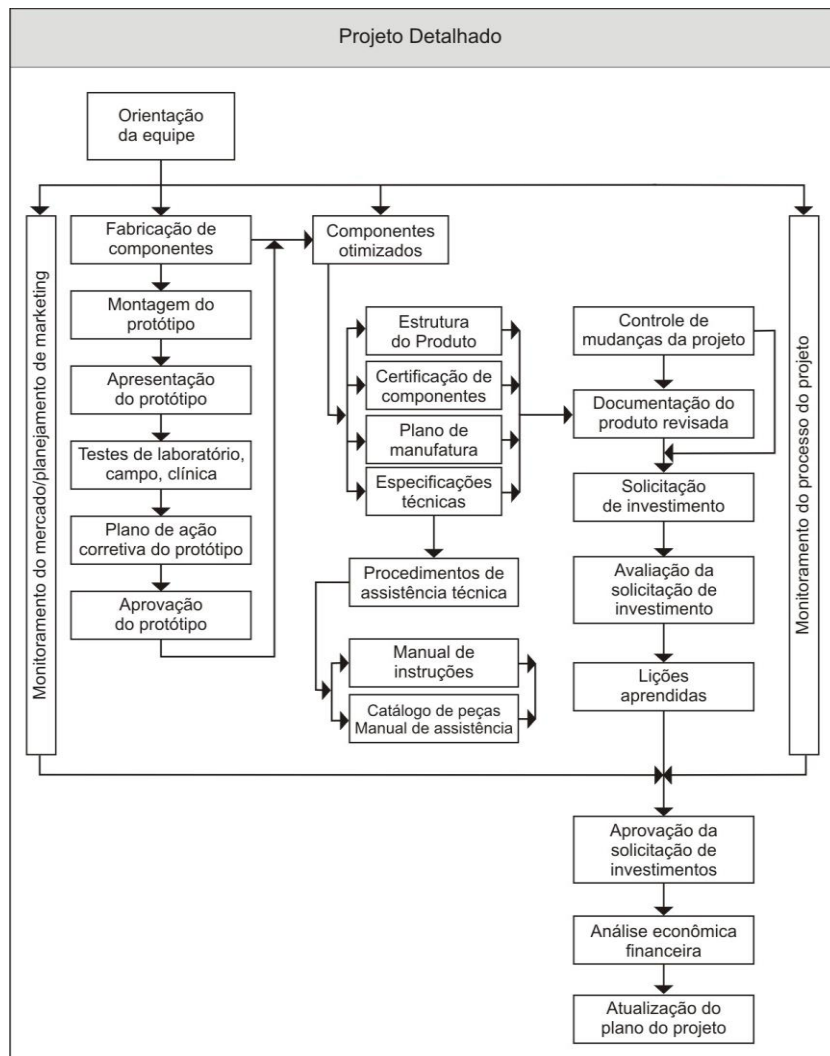
No projeto detalhado, as atividades não são realizadas de forma sequencial e, sim, através de vários tipos de ciclos, que garantem que projeto conceitual e projeto detalhado estejam integrados. Os tipos de ciclos da fase de detalhamento são:

- a) **Ciclo de detalhamento:** este ciclo desdobra o produto em sistemas, subsistemas e componentes, fazendo em seguida a sua integração;
- b) **Ciclo de aquisição:** neste ciclo os custos de fabricação de um SSC são calculados e comparados com os preços dos fornecedores, se for considerado lucrativo, um contrato de fornecimento é fechado;

c) Ciclo de otimização: ocorre quando os protótipos são construídos e testados. Em seguida é feita a avaliação e se necessário, a otimização, gerando mais um ciclo de detalhamento (ROZENFELD *et al.*, 2006).

O projeto detalhado é a fase que determinará as especificações do produto para se saber como o produto será produzido, incluindo a definição de quais componentes serão comprados de terceiros e quais serão fabricados na própria empresa. Enquanto as especificações do projeto determinam como devem ser o desempenho e aparência do produto, o projeto detalhado busca detalhar o produto através de desenhos técnicos e procedimentos para o controle de qualidade (BAXTER, 2011 e BACK *et al.*, 2008). A figura 6 mostra as etapas do projeto detalhado.

Figura 6 – Etapas do Projeto Detalhado



Fonte: Back *et al.* (2008).

No projeto detalhado algumas ferramentas de engenharia são utilizadas, como o CAD (Computer Aided Design), programas de simulação e de construção, bem como, programas de auxílio aos cálculos e dimensionamentos, que contribuem para uma melhor representação do produto (FORCELLINI, 2002).

No final desta etapa, deve existir um conjunto completo de especificações do produto, dando instruções sobre a fabricação do mesmo. Esta documentação deve conter informações como: as definições das funções, materiais, produção, custos entre outras (FORCELLINI, 2002 e BAXTER, 2011).

A fase seguinte é a de implementação ou pós-desenvolvimento, onde ocorre a preparação da produção, lançamento e validação do produto no mercado (BACK *et al.*, 2008).

2.3 O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS SUSTENTÁVEIS

Com o desenvolvimento cada vez mais acelerado da indústria, a escassez dos recursos naturais só aumenta e, diante deste fato, torna-se cada vez maior a necessidade da utilização de métodos que venham a auxiliar no desenvolvimento de produtos mais sustentáveis ressaltando que, para as empresas, um fator de grande importância é a competitividade de seus produtos e, hoje, desenvolver produtos que seguem critérios de sustentabilidade além de ser uma necessidade, proporciona um diferencial à empresa (TU e HSU, 1999).

De acordo com Marx, De Paula e Sum (2010) um produto pode ser considerado sustentável quando todo o seu ciclo de vida é estudado visando à minimização dos impactos negativos e maximização dos positivos nas dimensões: ambiental, econômica, social e ética.

O processo de desenvolvimento de produtos sustentáveis tem como objetivo principal controlar os encargos ambientais que ocorrem em cada etapa do ciclo de vida do produto e, levando em consideração questões como custo e qualidade, por exemplo, fazer uso de medidas que causem o menor impacto ambiental possível. (MIEN, FENG e GAY, 2005).

A inclusão dos requisitos ambientais no processo de desenvolvimento de produtos teve início em meados de 80, através do estudo do ciclo de vida do produto (AZEVEDO e NOLASCO, 2009).

Segundo Mattioda *et al.* (2013) as fases iniciais do projeto representam de 5 a 7% do custo do produto, porém, as escolhas feitas nessa fase representam em torno de 80% do custo total do projeto, isso porque, são as decisões tomadas nessa fase que irão determinar os impactos ambientais e econômicos das decisões futuras. Ou seja, a incorporação dos requisitos de sustentabilidade nas fases iniciais do PDP proporcionará redução de custos financeiros, bem como ambientais, indicando que se deve agir de forma preventiva quando se trata do desenvolvimento de produtos orientados para a sustentabilidade.

2.3.1 Ciclo de vida dos produtos

Considerando a ambiguidade do termo *ciclo de vida*, já que este pode ser utilizado na esfera administrativa apontando as diversas fases que distinguem a entrada, a permanência e a saída de um produto no mercado, de acordo com Manzini e Vezzoli (2002) o ciclo de vida do produto pode ser definido como a relação de trocas (input e output) entre o ambiente e o conjunto de atividades e processos que acompanham o produto desde a extração dos recursos necessários para a produção dos materiais até o último tratamento pós-descarte do produto. Ainda de acordo com os autores, cinco fases são utilizadas para representar de modo esquemático o ciclo de vida do produto, são elas:

- a) Pré-produção: é a fase onde são produzidos os materiais, considerando os recursos necessários para a sua produção e, é constituída de 3 fases: a fase de aquisição de recursos; a fase de transporte dos recursos de onde são extraídos até o local de destino para produção; a fase de transformação dos recursos em materiais e em energia;
- b) Produção: é a fase onde ocorrem a transformação dos materiais, a montagem e o acabamento. Nela, também ocorre à pesquisa, o desenvolvimento, o projeto, os controles produtivos; além do gerenciamento dessa atividade. De acordo com Abrantes (2006), deve-se dar atenção especial aos desperdícios do processo produtivo, pois, no Brasil a quantidade de insumos perdidos na produção, pode chegar a 40% da água utilizada e 30% da energia elétrica consumida, números que mostram o grande desperdício nessa fase;

- c) Distribuição: é a fase onde o produto é embalado, transportado e armazenado. Nesta fase deve-se considerar além dos consumos e energia para o transporte, o uso dos recursos para a produção dos próprios meios de transporte utilizados, bem como as estruturas para estoque e/ou armazenamento. Apesar de não ficar claro se isso ocorrerá na fase de produção ou de distribuição, o uso desses recursos deve ser considerado no processo;
- d) Uso: duas características principais caracterizam esta fase: o uso ou o consumo; e o serviço. Vários produtos, durante seu uso, absorvem recursos materiais e energéticos para que possa exercer sua função, produzindo, dessa forma, resíduos e refugos. E, durando o uso, o produto pode necessitar de serviços, como reparos e manutenção do seu funcionamento, bem como de reparação para possíveis danos ou até mesmo a sua substituição;
- e) Descarte: esta é a fase onde ocorre a eliminação do produto que pode ser reutilizado (de forma total ou parcial, para a mesma função ou para uma função totalmente nova), reciclado e o que não possui nenhum potencial de reaproveitamento ou reciclagem, é destinado a aterros ou incineração.

2.3.1.1 O projeto do ciclo de vida (Life Cycle Design – LCD)

Diante dos impactos ambientais causados pelas etapas que compõe o ciclo de vida dos produtos, torna-se imprescindível que o produto, ao ser projetado, leve em consideração o conceito de ciclo de vida em todas as suas fases.

O Projeto do Ciclo de Vida tem como principal objetivo a máxima redução possível das entradas de materiais e de energia, assim como, dos impactos de todas as emissões e refugos agregada a todo ciclo de vida de um produto. O LCD é comumente aplicado na fase do projeto conceitual, ou seja, antes de sua aplicação, as estratégias de desenvolvimento de produto, incluindo as ambientais, já devem ter sido definidas (MANZINI E VEZZOLI, 2002).

Ao longo do seu ciclo de vida, um produto absorve determinada quantidade de matéria e energia e conseqüentemente, após suas transformações libera

emissões na natureza. Para que um produto seja considerado eco-eficiente³, é necessário que ele satisfaça mais do que os requisitos ambientais, ou seja, deve satisfazer requisitos como os de prestação de serviço, tecnológicos, econômicos, legislativos, culturais e estéticos (MANZINI e VEZZOLI, 2002).

Ainda de acordo com Manzini e Vezzoli (2002) muitas vezes as estratégias ambientais podem ser incompatíveis com os requisitos próprios do desenvolvimento de produtos tradicional, ou seja, por vezes, a estratégia do LCD tem seu foco na otimização da vida dos produtos, porém, isso pode reduzir o potencial de vendas. Um bom exemplo de conexão de objetivos é a redução do consumo energético na fase de produção.

Além disso, há de se dar uma atenção à fase com maior probabilidade de impacto ambiental: a fase de fim de vida dos produtos. As estratégias comumente aplicadas nessa fase incluem a reutilização, a manutenção, a reparação, o acondicionamento, a remanufatura, a reciclagem e a disposição final (GUIMARÃES, 2012; MANZINI e VEZZOLI, 2002; ROSE, 2000).

De acordo com Manzini e Vezzoli (2002), levando-se em consideração os impactos ambientais, no momento do descarte/eliminação, seria mais vantajoso fazer a reutilização do produto ou de parte dele, ao invés de recicla-lo ou fazer a incineração de seus materiais. O problema é que os custos com manutenção, reparos ou reutilização são altos, o que leva mais comumente à reciclagem ou a incineração, isso quando esse descarte não é feito no lixo, já que essas operações também possuem custos elevados.

No quadro 2 são apresentadas as estratégias do LCD, bem como seus objetivos, as fases com as quais as estratégias estão relacionadas e as recomendações de projeto.

³ O termo *eco-eficiente* diz respeito a produtos e serviços desenvolvidos visando satisfazer as necessidades humanas e trazer qualidade de vida, a preços competitivos, isso, aliado a redução gradual dos impactos ambientais, bem como do consumo de recursos ao longo do ciclo de vida, sendo que, o mínimo esperado, é que esse consumo não ultrapasse a capacidade de sustentação estimada da Terra (WBCSD, 2000).

Quadro 2 – Estratégias de Life Cycle Design

Projeto do Ciclo de Vida			
Estratégias	Objetivos	Fases	Recomendações
Minimização dos recursos	Redução do uso de materiais e de energia	Pré-produção Produção Distribuição Uso Descarte	<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar o conteúdo material de um produto • Minimizar as perdas e refugos • Minimizar o consumo de energia na produção • Minimizar o consumo de recursos no desenvolvimento de produtos • Minimizar o uso de recursos na distribuição • Minimizar o consumo de recursos durante o uso • Projetar para o uso coletivo e compartilhado
Escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental	Seleção de materiais, de processos e de fontes energéticas mais compatíveis com o meio ambiente	Pré-produção Produção Distribuição Uso Descarte	<ul style="list-style-type: none"> • Escolher materiais e processos de baixo impacto • Escolher recursos energéticos de baixo impacto
Otimização da vida dos produtos	Projetar objetos que perdurem	Distribuição Uso Descarte	<ul style="list-style-type: none"> • Projetar a duração adequada • Projetar a segurança • Facilitar a atualização e a adaptabilidade • Facilitar a manutenção • Facilitar o reparo e a reutilização • Facilitar a remodelação • Intensificar a utilização
Extensão da vida dos materiais	Projetar visando a reaplicação dos materiais descartados	Descarte	<ul style="list-style-type: none"> • Adotar a reciclagem em efeito cascata • Escolher materiais com tecnologias de reciclagem eficientes • Facilitar a recolha e o transporte após o uso • Identificar os materiais • Minimizar o número de materiais incompatíveis entre si • Facilitar a limpeza • Facilitar a compostagem • Facilitar a combustão e a incineração
Facilitação da desmontagem	Projetar visando à facilidade de separação das partes e dos materiais	A facilitação da desmontagem é funcional para a otimização da vida dos produtos e para a extensão da vida dos materiais)	<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar e facilitar as operações para a desmontagem e separação • Usar sistemas de junção removíveis • No caso de uso de sistemas de junção permanente, que estes sejam de fácil extração • Prever tecnologias e equipamentos específicos para a desmontagem destrutiva • Usar materiais de fácil separação após a sua trituração • Usar insertos metálicos de fácil separação antes da trituração dos materiais (os dois últimos casos se aplicam quando se opta pela separação parcial ou total dos materiais através da trituração)

Fonte: Manzini e Vezzoli, 2002.

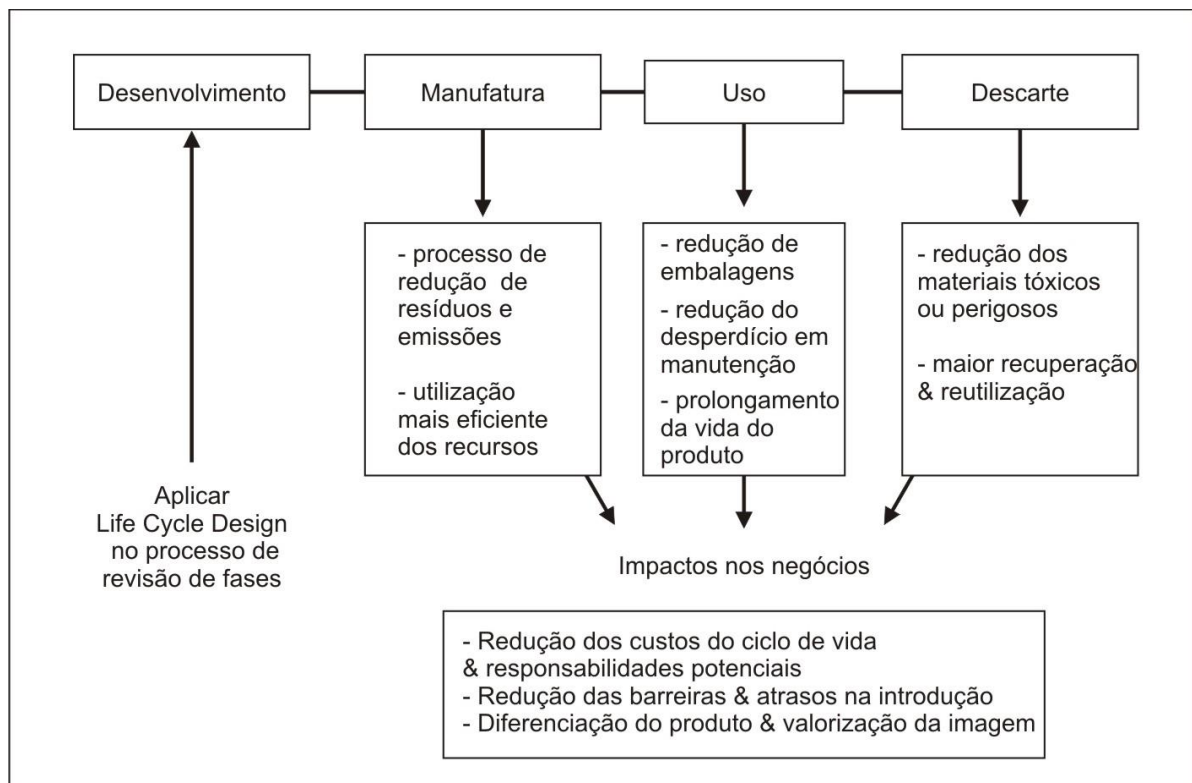
2.3.2 Ferramentas utilizadas no desenvolvimento de produtos sustentáveis

Diante dos problemas causados pelo desenvolvimento desenfreado de produtos, como esgotamento dos recursos naturais, poluição do solo e água entre outros, no início dos anos 90 novas concepções de projeto começaram a surgir, sendo denominadas como Projeto orientado a X (*Design for X* - DFX). O “X” é o

elemento que indica o objetivo a qual o projeto se refere. Alguns exemplos de DFX são: Projeto orientado para o Meio-Ambiente (*Design for Environment – DFE*), Projeto orientado para a Reciclagem (*Design for Recycling - DFR*) e Projeto orientado para a Sustentabilidade (*Design for Sustainability - DFS*) (GEHIN, ZWOLINSKI e BRISSAUD, 2008; VENZKE, 2002; BAUMANN, BOONS e BRAGD, 2002).

Entre os métodos mais citados para a contribuição com a minimização de impactos ambientais causados pelos produtos está o DFE, que é uma estratégia integrada de projeto de produto que visa alinhar os objetivos do PDP tradicional, como qualidade, desempenho e custo com objetivos ambientais, como extensão da vida dos materiais, minimização de recursos, e reciclagem de materiais (FIKSEL, 2009). A figura 7 apresenta os benefícios do DFE desde o projeto do produto até seu descarte.

Figura 7 - Benefícios do DFE



Fonte: Fiksel, 2009.

Diversas ferramentas DFX são utilizadas, porém, algumas delas têm seus procedimentos ligados aos fundamentos de desenvolvimento de produtos sustentáveis e do DFE, como mostrado no quadro 3.

Quadro 3 – Ferramentas DFX ligadas aos fundamentos do desenvolvimento de produtos sustentáveis e do DFE

Ferramenta DFX	Características
Design for Manufacturability (DFM – Projeto Orientado para a Manufatura)	Visa entender como ocorre à interação entre o projeto e outros componentes do processo de manufatura e na definição de alternativas no projeto, para a configuração do mesmo, tendo em vista custo, qualidade e produtividade.
Design for Assembly (DFA – Projeto Orientado para a Montagem)	Tem como objetivo principal a redução dos custos relacionados ao tempo de montagem, redução dos componentes e simplificação da manufatura.
Design for Manufacturing and Assembly (DFMA – Projeto Orientado para a Manufatura e Montagem)	É uma junção dos princípios do DFM com o DFA.
Design for Recycling (DFR – Projeto Orientado para a Reciclagem)	Tem como objetivo evitar a combinação de materiais incompatíveis ou que possam produzir emissões tóxicas no processo de transformação, além de fazer uso de materiais biodegradáveis.
Design for Disassembly (DFD – Projeto Orientado para a Desmontagem)	Reúne técnicas de projeto visando à desmontagem do produto, preocupando-se com o descarte das peças provenientes da desmontagem. Além disso, é importante em diversas fases, podendo ser utilizada para aumentar a vida dos produtos, aumentar a vida dos materiais ou facilitar a extinção definitiva do produto. A desmontagem é uma prática que pode reduzir custos de manutenção, reparo, atualização, refabricação e reutilização, além dos custos relacionados à reciclagem compostagem ou incineração.

Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006); Guimarães (2012); Ramani *et al.* (2010); Manzini e Vezzoli, (2002).

Além destas, outras ferramentas foram desenvolvidas como a Ecoeficiência, *Ecodesign*, Método de Sustentabilidade (Sustainability Target Method), Produção e Recuperação de Produtos Ambientalmente Conscientes (Environmentally Conscious Manufacturing and Product Recovers - ECMPRO), entre outras (VENZKE, 2002; GUNGOR e GUPTA, 1999).

Diversos autores colocam o DFE e o Ecodesign como sinônimos, como por exemplo, Baumann, Boons e Bragd, 2002; Ljungberg, 2007; Kurk e Eagan, 2008 entre outros. De acordo com os autores citados acima o termo DFE tem muitos

sinônimos dependendo do local onde é usado, sendo que sua utilização é mais frequente na América. Na Europa é utilizado o termo *Ecodesign* ou Projeto do Ciclo de Vida (LCD). Pelos motivos citados acima, nesta pesquisa os termos DFE e *Ecodesign* também serão considerados sinônimos.

Segundo Herat (2007), o processo de DFE inicia-se com pesquisa e desenvolvimento, e a base para a concepção dos produtos são os impactos ambientais, ao mesmo tempo em que contratos e garantia de qualidade do trabalho estão relacionados com a colaboração entre fornecedores, garantindo que eles cumpram ou ultrapassem os critérios de desempenho ambiental. O DFE além de preocupar-se com a total eliminação dos produtos tóxicos do sistema, melhor desmontagem, menor peso e menores impactos, torna o produto mais competitivo com relação aos produtos fabricados por empresas que não adotam o uso dessa estratégia. Nos grandes mercados, a tendência é que, eventualmente, esses fabricantes sejam eliminados.

De acordo com Vercauteren (2001), além da contribuição para a preservação do meio ambiente, o DFE é um instrumento para a preservação da competitividade da empresa, pois, além da potencial vantagem financeira, proporciona à corporação uma boa imagem perante a sociedade e ao mercado, proporcionando, desta forma, a conquista de novos mercados. Ainda de acordo com o autor, é necessário que a corporação leve em consideração fatores internos, externos e do produto propriamente dito para a inserção do DFE, sendo necessário ainda um estudo de sua praticabilidade na empresa, analisando dessa forma, quão viável seria sua inclusão na rotina de desenvolvimento de produtos.

Segundo Brezet (1997) o objetivo principal do Ecodesign consiste na otimização do desempenho ambiental dos produtos ao longo do seu ciclo de vida, com isso, mostra-se um método importante para a concepção de produtos voltados para o conceito de desenvolvimento sustentável. Ainda segundo o autor, *ecodesign* e inovação estão alinhados, pois a sua prática vai além da reativação ou correção, podendo inclusive, inserir novas funções ao produto.

Segundo Borchardt *et al.* (2008), a utilização de práticas de Ecodesign pode contribuir para o sucesso da estratégia de manufatura, pois, a adoção de sua prática inclui, na gestão, questões diretamente ligadas ao controle ambiental. Como exemplo, cita-se o Sistema Toyota de Produção que tem como estratégia de

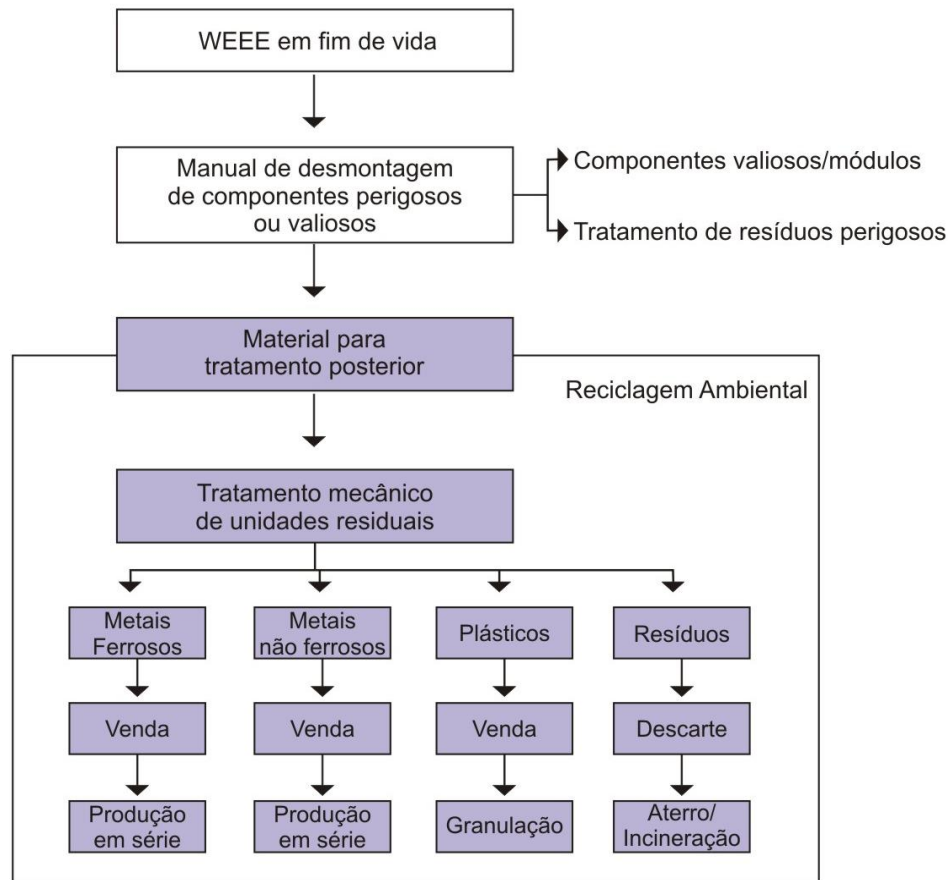
manufatura, a preservação de recursos, através da eliminação das perdas dos processos produtivos e da minimização de atividades que não vêm a contribuir do ponto de vista dos clientes.

De acordo com Tingström e Karlsson (2006), o desenvolvimento de um novo produto é um processo não linear, pois, muitas vezes, podem ocorrer interações não previstas entre o produto e o meio, o que exige o uso de modelos não lineares para testá-lo, neste sentido, os autores destacam a multidisciplinaridade do ecodesign.

Um estudo de Zuidwijk & Krikke (2008), destinado à redução dos resíduos provenientes de equipamentos elétricos e eletrônicos, apontou a utilização de práticas de ecodesign como a principal característica de sucesso, porém, o estudo considerou necessário que ocorram melhorias nas estratégias de recuperação e remanufatura.

De acordo com Kuo (2012), para que a reciclagem ocorra com o objetivo de minimizar os impactos ambientais de um produto em fim de vida, todas as substâncias perigosas devem ser identificadas e removidas com segurança. No caso dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, existe uma diretiva intitulada Diretiva WEEE, publicada pela União Européia, que é uma regulamentação que exige que as substâncias e componentes perigosos sejam separados de todos os WEEE recolhidos. Com isso, várias questões devem ser consideradas no momento da reciclagem ou desmontagem como segurança, economia, impactos ambientais, entre outras. Na figura 8 é possível entender como ocorre o processo de reciclagem de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos em fim de vida.

Figura 8– Processo de reciclagem de WEEE em fim de vida



Fonte: Kuo (2012)

2.3.3 Avaliação do Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment – LCA)

Como já mencionado anteriormente, o ecodesign visa à redução dos impactos ambientais causados ao longo do ciclo de vida dos produtos. Neste sentido, ao longo das fases de desenvolvimento do produto, os resultados devem ser avaliados de forma contínua e distribuída. Para que uma avaliação das alternativas de projeto e seleção da que melhor atende às exigências ambientais, seja possível, é preciso se identificar ferramentas adequadas capazes de quantificar o desempenho ambiental do produto em desenvolvimento. Neste sentido, a técnica mais completa conhecida atualmente para avaliação dos resultados ambientais de um projeto é a Life Cycle Assessment (LCA).

A LCA é um método de verificação dos impactos ambientais causados por um produto desde a sua concepção até a produção e destino final. Ela pode ser utilizada no desenvolvimento de um novo produto ou na avaliação de produtos já existentes.

A LCA leva em consideração os impactos ambientais nos âmbitos da saúde ecológica, da saúde humana e do esgotamento de recursos naturais (HUNDAL, 2000).

Segundo Kralj (2011) a LCA é uma ferramenta padronizada que permite medir, tanto qualitativamente quanto quantitativamente, a influência de um sistema sobre o meio ambiente visando à minimização dos possíveis impactos no ambiente, na saúde humana e com relação aos recursos naturais.

De acordo com a Vigon (1993) a avaliação do ciclo de vida consiste de três componentes que se complementam:

- a) **Análise de Inventário:** dos três componentes da análise do ciclo de vida, este é o melhor desenvolvido. A análise de inventário é um processo técnico, baseado em dados de quantificação da energia e das matérias-primas necessárias, das emissões atmosféricas, dos resíduos sólidos, e de outras emissões durante todo o ciclo de vida de um produto. É interessante que sejam descritos os aspectos qualitativos nessa fase, porém, geralmente eles são melhores descritos na fase seguinte;
- b) **Análise de Impacto:** é um processo técnico, quantitativo e/ou qualitativo para caracterizar e avaliar os efeitos dos recursos necessários e das cargas ambientais identificados na fase anterior. Existe uma importante diferença entre a análise de impacto do ciclo de vida e outros tipos de análises de impacto. A análise do impacto de ciclo de vida não tenta necessariamente quantificar um impacto real específico associado a um produto ou processo, e sim, estabelecer uma ligação entre um produto ou processo de ciclo de vida e impactos potenciais;
- c) **Análise de Melhoria:** é uma avaliação sistemática (que pode incluir tanto medidas quantitativas, quanto qualitativas de melhorias) das necessidades e oportunidades para a redução da carga ambiental associada ao uso de energia e matérias-primas e emissões de resíduos durante o ciclo de vida de um produto, processo ou atividade.

Segundo Manzini e Vezzoli (2002), os objetivos gerais para o desenvolvimento de uma LCA são:

- a) **Definição de um quadro das interações entre uma determinada atividade e o ambiente;**

- b) Contribuição para o entendimento da complexidade e das consequências ambientais dessa atividade;
- c) Fornecimento das informações que definem os efeitos das ações no ambiente da atividade e que propõe oportunidades de aperfeiçoamento das condições ambientais.

De acordo com a norma ISO 14040:2006, a LCA possui quatro fases complementares entre si. O quadro 4 mostra os objetivos de cada uma dessas fases. As aplicações diretas das fases da LCA envolvem o desenvolvimento e melhoria do produto, o planejamento estratégico, a elaboração de políticas públicas, marketing, entre outras, sempre tendo a redução dos impactos ambientais como foco.

Quadro 4 – Fases da LCA

Fases da LCA	Objetivos
Definição dos objetivos e escopo	Estabelecimento de metas, ou seja, a definição dos objetivos de estudo e definição do escopo, que leva em consideração a função do sistema em estudo, a unidade funcional, as fronteiras e ainda questões como tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto, limitações, requisitos da qualidade dos dados entre outras.
Análise de inventário	A partir da definição dos objetivos e escopo são individualizadas as entradas e saídas do sistema em análise, os procedimentos de cálculo, alocação de recursos dentre outros para então se iniciar o tratamento dos dados e por fim se definem os procedimentos referentes a co-produtos, processo de tratamento do lixo e reciclagem.
Avaliação de impactos	Nessa fase os dados do inventário são relacionados aos impactos ambientais classificados de acordo com os critérios da gestão ambiental, permitindo a avaliação dos impactos.
Interpretação dos resultados	Revisão das fases de análise de inventário e avaliação de impactos relativos às finalidades e objetivos estabelecidos no início dos estudos (objetivos e escopo). Caso o resultado não seja satisfatório, o estudo deverá ser refeito de forma parcial ou total dependendo do grau de insatisfação.

Fonte: ISO 14040:2009

2.4 LIXO ELETRÔNICO

O lixo eletrônico é química e fisicamente diferente de outras formas de resíduos urbanos ou industriais, pois, contém materiais nocivos à saúde humana e ao meio ambiente e exige tratamento especial para sua reciclagem. A reciclagem pode recuperar componentes reutilizáveis e matérias-primas, especialmente cobre e metais preciosos. Os países ricos tendem a não reciclar o lixo eletrônico, isso, devido à falta de instalações, os altos custos trabalhistas e ambientais e a falta de

regulamentações mais rigorosas. O lixo produzido nos países ricos geralmente é depositado em aterros, ou exportado para países pobres, onde será reciclado através de técnicas primitivas que não respeitam a segurança do trabalhador, nem o meio ambiente (ROBINSON, 2009).

Segundo dados da Schluepa *et al.* (2009), são produzidos 40 milhões de toneladas de lixo eletrônico por ano em todo o mundo, sendo que o Brasil, é o maior gerador de WEEE, entre os países emergentes, produzindo mais de 0,5 kg por ano / per capita. A estimativa de descarte de lixo eletrônico no Brasil anualmente é de 96,8 mil toneladas métricas de PCs, 115 mil toneladas de refrigeradores, 17,2 mil toneladas de impressoras, 2,2 mil toneladas de aparelhos celulares e 0,7 quilo ao ano / per capita de aparelhos de TV.

Mais de um bilhão de aparelhos celulares estão sendo utilizados em todo o mundo. A cada ano, 130 milhões destes são descartados nos EUA e 105 milhões na Europa (LEAN, 2004 *apud* CANNING, 2006). Na carência de uma política objetiva sobre a gestão do fluxo do lixo eletrônico a situação nos países receptores desse material pode tornar-se excessivamente preocupante (FRAZZOLI *et. al.*, 2010).

De acordo com Mawakdiye (2007), o tempo médio estimado para troca de um aparelho celular é de menos de dois anos, ou seja, 10 a 20 % dos celulares fabricados anualmente, entram em desuso a cada ano, o que gera cerca de 3 mil toneladas de lixo eletrônico proveniente de aparelhos celulares descartados.

2.4.1 Composição do lixo eletrônico

O lixo eletrônico provém do descarte de equipamentos elétricos e eletrônicos como telefones celulares, computadores, eletrodomésticos portáteis, filmadoras, lâmpadas fluorescentes, televisores, e uma infinidade de outros produtos provenientes da evolução tecnológica. A Diretiva 2002/96 da União Européia, intitulada “Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)” classifica o lixo eletrônico em 10 categorias. Cada categoria compreende diversos produtos, conforme descrito no quadro 5.

Quadro 5 – Categorias do lixo eletrônico e produtos compreendidos

Categorias	Produtos compreendidos
1) Grandes eletrodomésticos	Grandes aparelhos de arrefecimento; frigoríficos; freezers; outros aparelhos de grandes dimensões utilizados na refrigeração, conservação e armazenamento de alimentos; máquinas de lavar roupa; secadores de roupa; máquinas de lavar louça; dispositivos elétricos de cozinha; fogões elétricos; cook top; microondas; outros aparelhos de grandes dimensões utilizados para o processamento de cozimento dos alimentos; aparelhos de aquecimento elétricos; radiadores elétricos; outros aparelhos de grandes dimensões para aquecimento de casas, camas, mobiliário para sentar; ventiladores elétricos; aparelhos de ar condicionado; outros equipamentos de ventilação, ventilação de exaustão e condicionamento.
2) Pequenos eletrodomésticos	Aspiradores; vassouras elétricas; outros aparelhos de limpeza; aparelhos utilizados na costura, tricot, tecelagem e outras transformações para os têxteis; ferros e outros aparelhos para passar, torcer e outros cuidados da roupa; torradeiras; fritadeiras; moinhos, máquinas de café e aparelhos para abrir ou fechar recipientes ou embalagens; facas elétricas; aparelhos para cortar o cabelo, secadores de cabelo, escovas de dente elétricas, máquinas de barbear, massageadores e outros aparelhos de cuidados corporais; relógios e equipamentos para fins de medir, indicar ou registrar o tempo; balança.
3) Equipamentos de informática e telecomunicações	<p>- Processamento de dados centralizado: computador central; minicomputadores; unidades de impressão;</p> <p>- Computação pessoal: computadores pessoais (CPU, mouse, monitor e teclado incluídos); computadores portáteis (CPU, mouse, monitor e teclado incluídos); notebooks; computadores portáteis; impressoras; copiadoras; máquinas de escrever elétricas e eletrônicas; calculadoras de bolso e de mesa; e outros produtos e equipamentos para a compilação, armazenamento, processamento, apresentação ou comunicação de informações por meios eletrônicos; terminais de usuário e sistemas; fax; telex; telefones; telefones públicos; telefones sem fio; telefones celulares; sistemas de atendimento; e outros produtos ou equipamentos de transmissão de som, imagens ou outras informações por telecomunicação.</p>
4) Equipamentos de consumo	Aparelhos de rádio; aparelhos de televisão; câmeras de vídeo; gravadores de vídeo; gravadores hi-fi; amplificadores de áudio; instrumentos musicais; outros produtos ou equipamentos para gravar ou reproduzir som ou imagens, incluindo sinais ou outras tecnologias de distribuição de som e imagem que não sejam por telecomunicações.
5) Equipamentos de iluminação	Luminárias para lâmpadas fluorescentes, com exceção dos aparelhos de iluminação doméstica; lâmpadas fluorescentes; lâmpadas fluorescentes compactas; lâmpadas de descarga de alta intensidade, incluindo lâmpadas de sódio sob pressão e lâmpadas de iodetos metálicos; lâmpadas de sódio de baixa pressão; iluminação ou equipamento com a finalidade de difundir ou controlar a luz, com exceção das lâmpadas de incandescência.
6) Ferramentas elétricas e eletrônicas (com exceção das grandes ferramentas industriais fixas)	Brocas; serras; máquinas de costura; equipamento para torneiar, fresar, lixar, triturar, serrar, cortar, brocar, furar, puncionar, dobrar, encurvar ou similar de madeira, metal e outros materiais; ferramentas para rebitar, pregar ou aparafusar ou remover rebites, pregos, parafusos ou para usos semelhantes; ferramentas para soldagem, o uso de solda ou similar; equipamento para pulverizar, espalhar, dispersar ou outro tratamento de substâncias líquidas ou gasosas, por outros meios; ferramentas para cortar relva ou para outras atividades de jardinagem.
7) Brinquedos, lazer e equipamentos desportivos	Conjuntos de comboios elétricos ou conjuntos de corridas de carros; video-games portáteis; vídeo games; computadores para ciclismo, mergulho, corrida, remo, etc; equipamentos desportivos com componentes elétricos ou eletrônicos; maquinas caça-níqueis.
8) Dispositivos	Equipamentos de radioterapia; cardiologia; diálise; ventiladores pulmonares;

Categorias	Produtos compreendidos
médicos (com exceção de todos os produtos infectados)	medicina nuclear; equipamentos de laboratório para diagnóstico in vitro; analisadores; freezers; testes de fertilização; e outros aparelhos para detectar, prevenir, controlar, tratar, aliviar doenças, lesões ou deficiências.
9) Instrumentos de monitoramento e controle	Detectores de fumaça; reguladores de aquecimento; termostatos; medição, pesagem ou ajuste de utensílios para uso doméstico ou como equipamento laboratorial; e outros instrumentos de acompanhamento e controle utilizados em instalações industriais (por exemplo, painéis de controle).
10) Maquinas automaticas de vendas	Distribuidores automáticos de bebidas quentes; distribuidores automáticos de garrafas ou latas quentes ou frias; distribuidores automáticos de produtos sólidos; distribuidores automáticos de dinheiro; e todos os aparelhos que forneçam automaticamente todo o tipo de produtos.

Fonte: EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY, 2003).

2.4.2 Conteúdo do lixo eletrônico

De acordo com investigações realizadas na Alemanha, 40% do total dos WEEE vêm de bens industriais, 40% de grandes eletrodomésticos e 20% de bens de consumo eletrônicos, incluindo 5% de computadores em fim de vida (EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY, 2003). O lixo eletrônico é bastante complexo e todos os aparelhos possuem substâncias tóxicas em quantidades variadas. Possui diversas categorias e em cada uma delas diversos produtos para diferentes fins. Diante da complexidade das peças/materiais encontradas nos WEEE e devido à composição específica para cada aparelho, a European Environmental Agency (2003) os dividiu em seis categorias, que são:

- a) ferro e aço, utilizado para as carcaças e molduras;
- b) metais não-ferrosos, especialmente de cobre utilizado em cabos; e alumínio;
- c) vidro, usado em telas;
- d) plástico, utilizado para revestir cabos e para placas de circuito;
- e) dispositivos eletrônicos, montados em placas de circuito;
- f) outros (borracha, madeira, cerâmica, etc.).

Na tabela 1 foram selecionados seis equipamentos para demonstrar a quantidade de cada componente das categorias listadas acima em cada aparelho:

Tabela 1 – Quantidade de cada componente constituinte do lixo eletrônico em alguns equipamentos

Equipamento	Peso Médio (kg)	Metais Ferrosos % peso	Metais não ferrosos % peso	Vidro % peso	Plásticos % peso	Dispositivos eletrônicos % peso	Outros % peso
Refrigeradores e freezers	48	64.4	6	1.4	13	-	15.1
Computadores Pessoais	29.6	35.3	8.4	15	23.3	17.3	0.7
Televisores	36.2	5.3	5.4	62	22.9	0.9	3.5
Fotocopiadoras		58	8	7	9	2	16
Tubos fluorescentes	0.2	0.6	1.4	93.9			4.1
Pequenos aparelhos		38	21			49	

Fonte: European Environmental Agency (2002)

Segundo Hagelüken e Meskers (*apud* Schluempa *et al.*, 2009) os EEE são compostos de diversos tipos de metais, plásticos e outras substâncias. Só um telefone celular pode conter mais de 40 elementos da tabela periódica, incluindo metais comuns (como Cu e Sn), metais especiais (como Co, In e Sb) e, metais preciosos (como Ag, Au e Pd). Eles representam em média, 23% do peso de um telefone, o restante é constituído de material plástico e de cerâmica. Na tabela 2 são apresentadas as quantidades de materiais presentes na composição de vários EEE e no Tabela 3 as quantidades de metais encontrados em telefones celulares (sem bateria). A bateria Li-ion de um telefone contém cerca de 3,5 g de Co.

Tabela 2 – Porcentagem de materiais presentes na composição de EEE.

Tipo	Proporção da composição (%)							
	Ferro	Outros metais	Componentes Eletrônicos	Material plástico	Plástico anti-chamas	Vidro	Materiais isolantes	Outros
Eletrodomésticos	54.7	4.9	0.2	23.6	1.4	2.1	3.5	9.6
Eletrônicos de consumo	20.6	5.6	8.8	18.8	3.0	27.4	0.0	15.8
Lâmpadas	6.9	7.5	0.3	0.6	0.6	83.0	0.0	0.9
Acessórios de montagem	40.0	20.0	0.0	20.0	20.0	0.0	0.0	0.0
Ferramentas elétricas	50.4	21.7	1.1	9.2	9.2	0.0	0.0	6.0
Média	43.5	5.9	2.6	2.2	2.2	11.8	2.3	10.8

Fonte: Chen, 2010.

Tabela 3 – Quantidades de metais presentes no telefone celular.

Metais presentes	Quantidade para 1 aparelho	Quantidade para 1 tonelada de aparelhos
Ag	250 mg	3,5 kg
Au	24 mg	340 g
Pd	9 mg	140 g
Cu	9 g	130 kg

Fonte: Hagelüken e Meskers (*apud* Schluepa *et al.*, 2009)

De acordo com Meulen (2007), a quantidade de metais utilizados na fabricação de um único aparelho pode parecer pequena, porém, mais de 1,15 bilhões de telefones móveis foram vendidos para consumidores finais no mundo em 2007, um aumento de 16% com relação a 2006, o que leva a uma demanda significativa de metal no total.

De acordo com Pettey e Meulen (2009), as vendas mundiais de PCs sofreram um declínio no último trimestre de 2008, sua taxa de crescimento foi a pior desde 2002. Mesmo com esta queda, as vendas totalizaram 78,1 milhões de unidades. Segundo Schluepa *et al.* (2009) em 2007, foram utilizados em média 930.000 toneladas de ferro para fabricar os PCs vendidos. Com a demanda elevada por metais na indústria de eletrônicos, somente a venda combinada de celulares e computadores pessoais neste mesmo ano aumentou a necessidade mundial de fornecimento de Au e Ag em 3%, de Pd em 13% e de Co em 15%. A tabela 4 mostra o impacto de telefones e PCs sobre a demanda de metais, com base nas vendas globais de 2007.

Tabela 4 – Impacto de telefones e PCs na demanda de metais baseado nas vendas globais de 2007.

a) Telefones celulares:	b) PC & laptops:	Produção Mundial das minas	a + b quota
1200 milhões de unidades x 250 mg Ag ≈ 300 t de Ag x 24 mg Au ≈ 29 t de Au x 9 mg de Pd ≈ 11 t Pd x 9 g de Cu ≈ 11.000 t Cu	255 milhões de unidades x 1000 mg Ag ≈ 255 t de Ag x 220 mg Au ≈ 56 t Au x 80 mg de Pd ≈ 20 t Pd x ≈ 500 g de Cu ≈ 128.000 t Cu	Ag: 20.000 Au: 2.500 Pd: 230 Cu: 16 M	t / a ► 3% t / a ► 3% t / a ► 13% t / a ► 1%
1200 M x 20 g / bateria * x 3,8 g Co ≈ 4500 t Co	≈ 100 M de baterias de laptop* x 65 g Co ≈ 6500 t Co	Co: 60.000	t / a ► 15%
*Tipo Li-Ion	* Tipo Li-Ion é > 90% utilizado nos laptops modernos		

Fonte: Adaptado de Umicore, 2008 (*apud* Schluepa *et al.*, 2009).

Desse ponto de vista e considerando todos os outros dispositivos eletrônicos, tais como LCD de TVs e monitores, MP3 players, brinquedos eletrônicos e câmeras digitais, fica claro que os EEE são um dos principais responsáveis pelo aumento da procura por certos metais, bem como pelos preços elevados. Isso ocorre porque as funções dos eletrônicos evoluem rapidamente e, alguns metais possuem propriedades específicas para sua obtenção. A utilização anual de metais importantes nos EEE representou o valor monetário de 45,4 bilhões de dólares no ano 2007 (SCHLUEPA *et al.*, 2009).

Ainda de acordo com Schluempa *et al.* (2009), eletrônicos compõem quase 80% da demanda mundial de índio (camadas condutoras transparentes em vidro de LCD), mais de 80% de rutênio (propriedades magnéticas em discos rígidos) e 50% de antimônio (retardadores de chama). Alguns desses metais são também importantes para geração de energia renovável: Se, Te e In são utilizados em painéis finos de filme fotovoltaicos; Pt e Ru são usados para células combustíveis da membrana trocadora de prótons (PEM)⁴.

Os recursos de metal usados anualmente em EEE são somados aos recursos de metal dos aparelhos já em uso na sociedade, estes, por sua vez, no fim do seu ciclo de vida tornam-se disponíveis novamente. Considerando a geração de milhões de toneladas de lixo eletrônico por ano, a reciclagem eficaz dos metais/materiais é fundamental para mantê-los disponíveis para a fabricação de novos produtos, sejam eles eletrônicos, para aplicações de energia renováveis ou aplicativos ainda não inventados. Desta forma os metais primários e os recursos energéticos podem ser conservados para as gerações futuras (SCHLUEPA *et al.*, 2009).

2.4.3 Toxicidade dos materiais

De acordo Schluempa *et al.* (2009), o descarte descontrolado ou o gerenciamento/reciclagem inapropriado do lixo eletrônico geram emissões significativamente perigosas, com graves impactos sobre a saúde e o meio ambiente. Diante disso, as emissões tóxicas do lixo eletrônico são diferenciadas em três níveis:

⁴ As células PEM são consideradas as mais apropriadas para utilização nas aplicações automotivas e eletrônicas portáteis (Schluempa *et al.*, 2009)

- a) Emissões primárias: Substâncias perigosas que estão contidas no e-lixo (por exemplo, chumbo, mercúrio, arsênio, fluorados líquidos de arrefecimento, etc)
- b) Emissões secundárias: produtos de reação perigosa de substâncias do e-lixo como resultado do tratamento inadequado (por exemplo, dioxinas ou furanos formados por incineração / fundição inadequados de plásticos com halogenados retardadores de chama)
- c) Emissões terciárias: substâncias perigosas ou reagentes que são usados durante a reciclagem (por exemplo, cianeto ou outros agentes de lixiviação, mercúrio para amálgama de ouro) e que são liberadas devido ao manuseio e tratamento incorretos.

Segundo Puckett *et al.* (2002) o lixo eletrônico contém mais de mil substâncias diferentes, dentre elas, materiais altamente tóxicos como mercúrio, arsênio, cádmio, selênio, cromo hexavalente e retardadores de chamas que, quando queimados emitem dioxinas. Essas toxinas podem causar danos ao cérebro, reações alérgicas e câncer. Cerca de 70% dos metais pesados como mercúrio e cádmio e, 40% do chumbo encontrados em aterros sanitários dos EUA vêm do lixo eletrônico. No quadro 6 são apresentadas as principais substâncias perigosas encontradas no lixo eletrônico e seus efeitos para a saúde e meio ambiente.

Quadro 6 - Substâncias perigosas encontradas no lixo eletrônico

Substância	Aplicações e efeitos à saúde e ao meio ambiente
Chumbo	Causa danos ao sistema nervoso central e periférico, sistemas circulatório, aos rins e ao sistema reprodutivo nos seres humanos. Efeitos sobre o sistema endócrino e graves efeitos negativos sobre o cérebro das crianças em desenvolvimento têm sido observados. O chumbo acumula-se no meio ambiente e causa efeitos agudos e crônicos em plantas, animais e microorganismos. As principais aplicações do chumbo em computadores são: painéis de vidro e vedação nos monitores de computador e solda em placas de circuito impresso e outros componentes.
Cádmio	Os compostos de cádmio são tóxicos com possível risco de efeitos irreversíveis na saúde humana e, se acumulam no corpo humano, em particular nos rins. É encontrado em alguns componentes, como resistências de chips SMD, detectores infra-vermelhos e chips semicondutores. O cádmio é também um estabilizador de plástico que pode ser encontrado em alguns tubos de raios catódicos mais velhos.
Mercúrio	Estima-se que 22% do consumo mundial anual de mercúrio é utilizado em EEE. Ele é usado em termostatos, sensores, retransmissores, interruptores (por exemplo, placas de circuito impresso e em equipamentos de medição), equipamentos médicos, lâmpadas, telefones celular e em baterias. O mercúrio pode causar danos a vários órgãos incluindo o cérebro e rins, bem como ao feto. O desenvolvimento do feto fica altamente suscetível através da exposição materna ao mercúrio. Quando mercúrio inorgânico se espalha na água, é transformado em metilmercúrio nos sedimentos do fundo. O metilmercúrio acumula-se facilmente nos organismos

Substância	Aplicações e efeitos à saúde e ao meio ambiente
	vivos e concentra-se através da cadeia alimentar, particularmente através do peixe.
Cromo hexavalente ou Cromo VI	CromoVI pode causar danos ao DNA e é extremamente tóxico no ambiente. Ele passa facilmente através das membranas celulares e, desta forma, é facilmente absorvido, produzindo vários efeitos tóxicos nas células contaminadas. CromoVI é utilizado como proteção de placas de aço galvanizadas e não tratadas e como um decorativo ou endurecedor para caixas de aço.
Plásticos, incluindo PVC	Plásticos compõem 13,8 quilos de um computador comum. O maior volume de plásticos (26%) utilizado em eletrônica tem sido policloreto de vinilo. O PVC é encontrado principalmente em cabos e caixas de computadores, embora muitos moldes de computador estejam atualmente sendo fabricados com plástico mais benigno, o ABS. O PVC é utilizado por suas propriedades retardadoras de chama. Assim como nos outros compostos contendo cloro, dioxinas podem ser formadas quando o PVC é queimado dentro de um certo limite de temperatura.
Retardadores de chama bromados	BFRs são usados em caixas de plástico de equipamentos eletrônicos e em placas de circuito para prevenir a inflamabilidade. Mais de 50% do uso de BFRs na indústria eletrônica consiste de tetra-bromo-bisfenol, 10% são éteres difenílicos e menos de 1% são bifenilos polibromados.
Bário	É usado no painel frontal de computadores para proteger os usuários de radiação. Estudos têm demonstrado que a exposição de curto prazo ao bário causou edema cerebral, fraqueza muscular, danos ao coração, fígado, e baço. Há ainda uma falta de dados sobre os efeitos da exposição crônica ao bário para os seres humanos. Estudos revelaram que animais expostos ao bário durante um longo período tiveram significativo aumento da pressão arterial e alterações no coração.
Berílio	É um metal extremamente leve, rígido, um bom condutor de eletricidade e calor, e é não-magnético. Berílio foi recentemente classificado como cancerígeno para os seres humanos e a exposição a ele pode causar câncer nos pulmões. Os trabalhadores que estão constantemente expostos a este metal, mesmo em pequenas quantidades, e que se tornam sensíveis a ele podem desenvolver o que é conhecido como Doença Pulmonar Crônica do Berílio (Beriliose), uma doença que primariamente afeta os pulmões. A exposição ao berílio também causa uma doença da pele que é caracterizada pela má cicatrização de feridas e saliências como verrugas. Estudos têm demonstrado que as pessoas podem continuar a desenvolver a doença do berílio mesmo muitos anos após a última exposição. Suas propriedades o tornam adequado para muitos usos industriais, incluindo, aplicativos eletrônicos, tais como computadores. Nos computadores, berílio é comumente encontrado em placas-mãe, como uma liga de cobre e berílio usada para fortalecer a força de tração dos conectores e pequenos plugs enquanto mantém a condutividade elétrica.
Toners	Cartuchos plásticos de impressora contendo toners pretos e coloridos são um dos periféricos mais encontrados em sucatas. O componente principal do toner preto é um pigmento conhecido como carbono negro. A principal forma de exposição é a inalação e, a exposição aguda pode levar à irritação do trato respiratório. Há pouca informação sobre os perigos dos toners coloridos. Alguns relatórios indicam que os toners (ciano, amarelo e magenta) contêm metais pesados.
Fósforo e aditivos	É um composto químico inorgânico utilizado como revestimento no interior do painel frontal do tubo de raios catódicos. Ele afeta a resolução da tela e a luminosidade das imagens que são vistas no monitor. Os perigos do fósforo no CRT não são bem conhecidos ou relatados. O revestimento de fósforo contém metais pesados, usados como aditivos, tais como cádmio e outros metais raros, por exemplo zinco, vanádio, etc. Estes metais e seus compostos são muito tóxicos, o que pode gerar sérios problemas para aquele que desmontar os CRTs à mão.

Fonte: Puckett *et al.*, 2002.

Boa parte do lixo eletrônico é enviada para aterros ou incineradores, o que torna o problema do lixo eletrônico ainda maior, pois, em aterros ele se mistura com

os demais resíduos, contaminando a água e o solo e em incineradores libera substâncias altamente tóxicas no meio ambiente. Em 1997 cerca de 3,2 milhões de toneladas de lixo eletrônico acabaram em aterros nos Estados Unidos. Em 2001, CRT's foram proibidos em aterros municipais na Califórnia e Massachusetts devido aos riscos que oferecem a saúde e ao meio ambiente. Os incineradores municipais são as maiores fontes de eliminação de dioxinas no meio ambiente nos EUA e no Canadá e, são os maiores contaminadores de toda a atmosfera através da queima de metais pesados. A incineração do cobre contribui para a velocidade da formação de dioxinas, já a de bromados retardadores de chama e PVC conduzem à geração de dioxinas e furanos, que são extremamente tóxicos. Todos esses componentes são comumente encontrados no lixo eletrônico. (PUCKETT *et al.*, 2002)

Apesar da quantidade de materiais tóxicos contidos no e-lixo, a quantidade de metais preciosos também é considerável. Nas fabricações iniciais, os PCs podiam conter até 4g de ouro cada, sendo que essa quantidade diminuiu para 1g em média, já os metais comuns, contém em média 0,2 toneladas de cobre para cada tonelada de lixo eletrônico e a média de preço mundial para venda é de 500 euros (SODERSTROM, 2004 - *apud* WIDMER, 2005).

A Diretiva 2002/96 intitulada de “Diretiva WEEE” tem como principal objetivo prevenir a geração de resíduos elétricos e eletrônicos e promover a reutilização, reciclagem e outras formas de recuperação para a redução da quantidade desses resíduos a serem eliminados, para desta forma, melhorar o desempenho ambiental dos operadores econômicos envolvidos no seu tratamento (EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY, 2003).

Já a Diretiva 2002/95/EC possui um regulamento importante a respeito da Restrição de Substâncias Perigosas (RoHS) nos EEE, que proíbe a utilização de Cd, Hg, Pb, cromo VI e dois bromados retardadores de chama: PBDEs e PBB a partir de 2006, exceto em algumas aplicações. Estas substâncias são proibidas na fabricação de EEE devido aos impactos associados, quando indevidamente eliminados em incineradores ou aterros sanitários (EUROPEAN UNION, 2003).

Nos países em desenvolvimento é crescente o desafio enfrentado na gestão do lixo eletrônico, isso porque, não há infraestrutura suficiente para administrar os resíduos com segurança, o que leva à incineração a céu aberto ou ao despejo dos resíduos em corpos d'águas superficiais, ou ainda, à reciclagem ineficiente, em

locais inadequados, onde a recuperação dos materiais é altamente poluente (NNOROM e OSIBANJO, 2008).

É importante que se evite o contato do lixo eletrônico com o lixo doméstico, pois ele possui componentes perigosos que podem sair dos aterros direto para a água e o solo, contaminando o meio ambiente. Além disso, a reciclagem e o acondicionamento podem recuperar boa parte dos resíduos eletrônicos, que, contém uma grande quantidade de metais. A quantidade de metal pode parecer pequena para um aparelho celular, mas, o descarte de bilhões de celulares, faz com que se tenha uma quantidade e variedade enorme de metais a serem reutilizados (SILVEIRA e SHOOU-YUH, 2010).

Se o lixo eletrônico for depositado em aterros ou se não for tratado de maneira adequada, ele representará sérios riscos ao ambiente e a saúde humana. Além disso, o e-lixo contém recursos valiosos que podem ser recuperados e reutilizados, reduzindo a necessidade de garimpar novos metais. Apesar de plásticos e aço dominarem no lixo eletrônico em termos de peso, o ouro e outros metais preciosos dominam em quantidade. Para placas de PCs, telefones celulares e de calculadoras, ouro e outros metais preciosos constituem mais de 80% do valor, enquanto que para as placas de televisores e DVDs, eles ainda contribuem com cerca de 50% do valor, já o cobre contribui com valor próximo a isso (HAGELÜKEN e CORTI, 2010).

2.4.4 Processos de reciclagem de lixo eletrônico

Diante da grande quantidade de lixo eletrônico descartado, diversos processos de reciclagem dos materiais que o compõe vêm sendo desenvolvidos com sucesso atualmente. Os principais processos encontrados na literatura serão descritos a seguir.

A Umicore - empresa internacional, líder em desenvolvimento de novas tecnologias ambientais - possui um processo exclusivo e sustentável de reciclagem de baterias recarregáveis (presentes em diversos equipamentos eletrônicos, como aparelhos de telefone fixo, aparelhos celulares, câmeras fotográficas, notebooks entre outros. Esse processo é denominado “VAL'EAS” e é desenvolvido na Suécia, na unidade de Hofors da Umicore. Nele, as baterias arrecadadas são depositas de

forma íntegra em um forno passando por um processo de fundição. O plástico resultante deste processo é reaproveitado como fonte de energia e a parte metálica, que forma uma liga de vários metais, é enviada para Olen, na Bélgica, onde passam por um processo de separação dos componentes metálicos. Os gases que resultam deste processo, vão para um forno de pós-combustão, tornando-se gases inertes. Os metais recuperados tornam-se matéria-prima para produção de novas baterias e, as escórias são utilizadas como agregado para concreto. Desta forma, fecha-se um ciclo ecologicamente correto (UMICORE, 2009).

Além do processo de reciclagem de baterias recarregáveis, a Umicore possui um processo de reciclagem de placas de circuito impresso (presentes na grande maioria dos equipamentos eletrônicos. Sua separação é extremamente complexa por possuir diversos materiais em quantidades mínimas) que acontece na Refinaria de Metais Preciosos da Umicore, em Hoboken, na Bélgica. Esse processo inicia-se com a trituração e homogeneização das placas, passando por uma análise que determina a composição química do material resultante desse processo. Estes seguem para um forno de alta temperatura onde a pasta orgânica é queimada e os metais são concentrados em uma fase líquida. Depois de retirados do forno, os metais são separados e refinados. Os resíduos restantes (já sem metais) são utilizados na pavimentação de estradas. Essa fábrica, na Bélgica, tem capacidade para receber e reciclar 300 mil toneladas de materiais, incluindo a sucata eletrônica. Com relação à reciclagem de baterias recarregáveis que ocorre na unidade da Suécia, a capacidade de tratamento dos produtos é de 4 mil toneladas por ano (UMICORE, 2009).

Na Refinaria de Metais Preciosos da Umicore, são recuperados de forma eficiente 17 metais diferentes, incluindo metais preciosos como ouro, prata e os metais do grupo da platina (paládio, platina, ródio, irídio, rutênio), metais especiais como selênio, telúrio e índio, metais secundários como antimônio e arsênio e metais de base como cobre, chumbo e níquel, provenientes da reciclagem de catalisadores industriais, catalisadores automotivos e lixo eletrônico (HAGELUKEN, 2006).

De acordo com Vasques (2009), os metais e aço podem ser reciclados continuamente, sem nenhuma perda de suas propriedades físicas. O setor de reciclagem de materiais ferrosos, no Brasil, atua com equipamentos para preparo e beneficiamento da sucata de obsolescência. O setor é composto por cerca de 2.500

empresas espalhadas por todo o país, com capacidade para processar até 420 mil toneladas de sucata por mês.

Com relação aos metais não ferrosos, a reciclagem do cobre tem se tornado um tema de alta prioridade devido à demanda por matérias primas e a aplicação das diretivas europeias no processamento de WEEE. Atualmente, 43% da demanda de cobre na Europa é suprida pela reciclagem. Se o cobre for puro e não estiver contaminado, um produto de alta qualidade é obtido na reciclagem e, se a sucata for proveniente de apenas uma formulação de liga, fica mais fácil derrete-la e obter boa qualidade. Em contraposição, quando o cobre e sucatas de ligas de cobre estiverem muito contaminados e impróprios para a simples fusão, pode ser necessária alguma correção na composição durante este processo, fato que, não impede sua reciclagem, já que, eles podem ser reciclados por outros meios para a recuperação do cobre, seja como metal ou para obtenção dos vários compostos essenciais para aplicações industriais e na agricultura (VASQUES, 2009).

Segundo Ribas *et. al.* (2008), na reciclagem do alumínio, há uma economia de energia de 95% em relação ao processo primário, poupando a extração de 5 toneladas de bauxita por tonelada reciclada. Com relação ao aço, cada tonelada reciclada representa uma economia de 1.140 kg de minério de ferro, 154 kg de carvão e 18 kg de cal.

Com relação aos tubos de raios catódicos dos monitores CRT, de acordo com Kang e Schoenung (2005), devido ao fato de conterem chumbo, é necessário que seu manuseio seja feito de forma correta, para evitar a contaminação do ar, solo e água. Segundo o autor, existem duas tecnologias disponíveis atualmente para reciclagem de CRTs, que são: o processo chamado "vidro para vidro", que é considerado um processo de reciclagem de ciclo fechado, isto porque, o vidro que é reciclado, é usado, posteriormente, como matéria-prima para a fabricação de novos CRTs e, o processo chamado "vidro para chumbo", onde o chumbo metálico e o cobre são separados e recuperados a partir do vidro do CRT através de um processo de fundição.

O processo "vidro para chumbo" é automatizado em comparação com o de "vidro para vidro", além de ser mais rentável e oferecer condições de trabalho mais seguras, devido ao fato de os trabalhadores serem protegidos do chumbo em pó, graças à automatização e do controle de emissões do processo. Apesar do processo

de reciclagem de “vidro para chumbo” ter uma alta taxa de rendimento, ele reduz o valor do vidro de alta qualidade (KANG e SCHOENUNG, 2005).

De acordo com Gerbase e Oliveira (2012), o PVC corresponde ao maior volume, aproximadamente 26%, do plástico utilizado em aparelhos eletrônicos, por ser um bom isolante térmico e elétrico, resistente a choques e não propagador de chamas, porém, sua incineração pode formar dioxinas que podem causar sérios riscos a saúde humana e ao meio ambiente. Já o ABS, outro termoplástico presente nos WEEE, apresenta resistência química, alto brilho e boa relação custo benefício, entretanto, é inflamável e suscetível à degradação termo e foto oxidativa.

O termoplástico é um material que pode ser transformado, processado e reprocessado. Os produtos concebidos com o uso de matéria prima reciclada consomem 70% menos energia do que os que são produzidos a partir de plásticos novos. O reaproveitamento dos termoplásticos pode ser conseguido através de três processos: *i) a reciclagem energética*, onde os resíduos plásticos são utilizados como combustível na geração de energia elétrica; *ii) a reciclagem química*, onde o plástico é reprocessado por aquecimento, sendo obtidos monômeros ou hidrocarbonetos que serão utilizados novamente na indústria petroquímica para a produção de novos plásticos; e *iii) a reciclagem mecânica*, que consiste na transformação do plástico em grânulos que poderão ser reutilizados para a produção de outros produtos (GERBASE E OLIVEIRA, 2012).

2.4.5 Reutilização do lixo eletrônico

Diante do grande volume de lixo eletrônico gerado diariamente no planeta, algumas iniciativas começaram a surgir em termos de reuso, de forma criativa. Geralmente, são desenvolvidos de forma artesanal por artistas, designers, estudantes de design ou por pessoas que se deparam com um equipamento elétrico ou eletrônico em fim de vida e optam por dar uma nova função a ele.

Neste sentido, o designer canadense Adrian Johnson, criou um sofá a partir de uma geladeira e um banco de carro em desuso conforme ilustrado na figura 9. O designer inicia o desenvolvimento do sofá com a busca por um assento de carro em bom estado, para então tentar encontrar geladeiras nos quais o assento se encaixe. Nesse processo, quase toda a carcaça da geladeira é aproveitada, sendo que a câmara onde fica o gás freon (gás muito nocivo à atmosfera - responsável pelo

resfriamento das geladeiras fabricadas no século passado) permanece intacta após o processo de desmontagem da geladeira, e é destinado ao reaproveitamento seguro por outras empresas. (<<http://super.abril.com.br/blogs/planeta/canadense-cria-sofa-feito-com-geladeiras-e-carros-velhos/>> - acesso em: 10 ago. 2013).

Figura 9 - Sofá desenvolvido a partir de geladeira e banco de carro



Fonte: <<http://super.abril.com.br/blogs/planeta/canadense-cria-sofa-feito-com-geladeiras-e-carros-velhos/>> - acesso em: 10 ago. 2013.

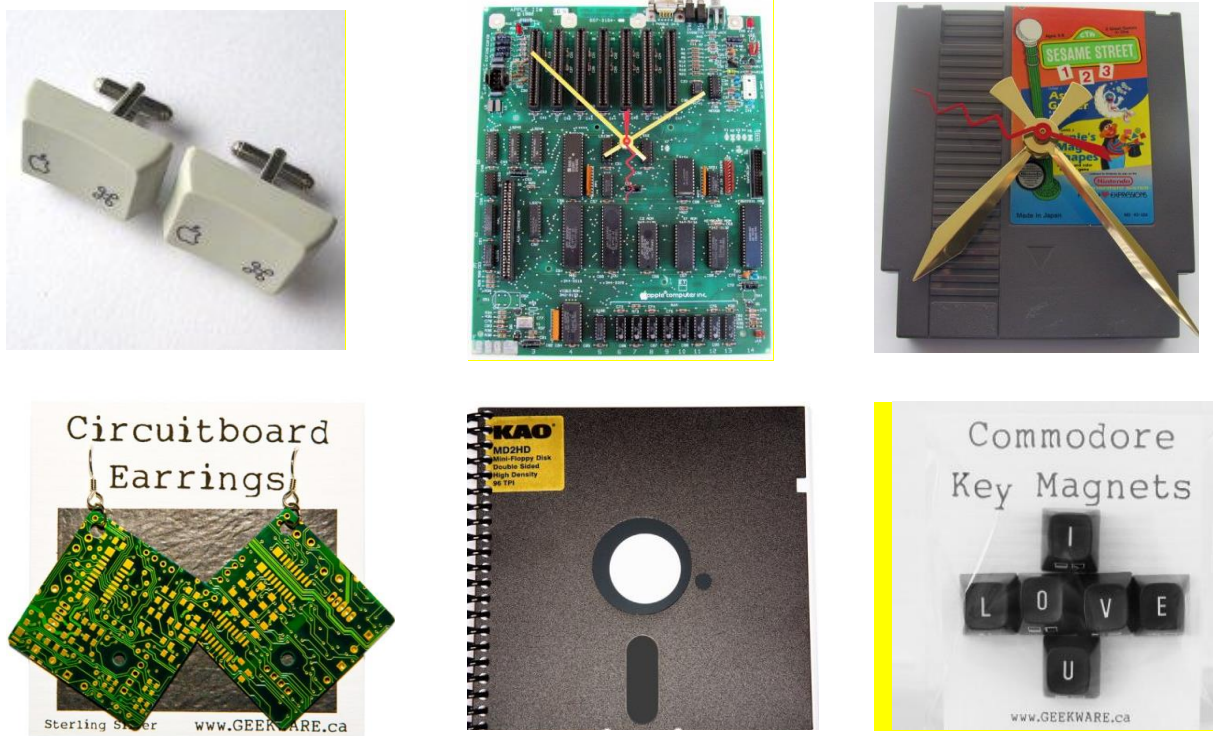
Já a canadense Nicola Harper, transformou o reuso do lixo eletrônico em negócio. Depois de cinco anos trabalhando com gerenciamento de resíduos, resolveu deixar o emprego em 2004 para criar o Acorn Studios, que é hoje uma loja virtual que vende acessórios desenvolvidos a partir do lixo eletrônico – a Geekware.

O processo criativo se inicia com a busca por equipamentos e componentes eletrônicos em depósitos de lixo, para transformá-los em objetos e acessórios, como relógios confeccionados com placas de circuito e chaveiros com teclas. Todos os produtos são artesanais, desenvolvidos pela própria Nicola, que trabalha desde a escolha do material, até a produção e envio das peças (<http://tecnologia.terra.com.br/eletronicos/canadense-transforma-lixo-eletronico-em-pecas-de-design,c22853ba037ea310VgnCLD200000bbcceb0a_RCRD.html> - acesso em: 10 ago. 2013)

Os produtos a venda custam em média: \$34.95 USD (abotoadura com tecla MacBook); \$69.95 USD (relógio grande – Apple); \$ 24,95 USD (relógio com cartucho de jogo nintendo); \$14.95 USD (brincos com placa de circuito); \$9.95 USD (cadernos

com disquete); \$12,95 USD (kit de imãs com tecla), conforme ilustrado na figura 10. (<www.geekware.ca/> - acesso em: 10 ago.2013)

Figura 10 – Produtos a venda – Nicole Harper



Fonte: <www.geekware.ca/> - acesso em: 10 ago. 2013.

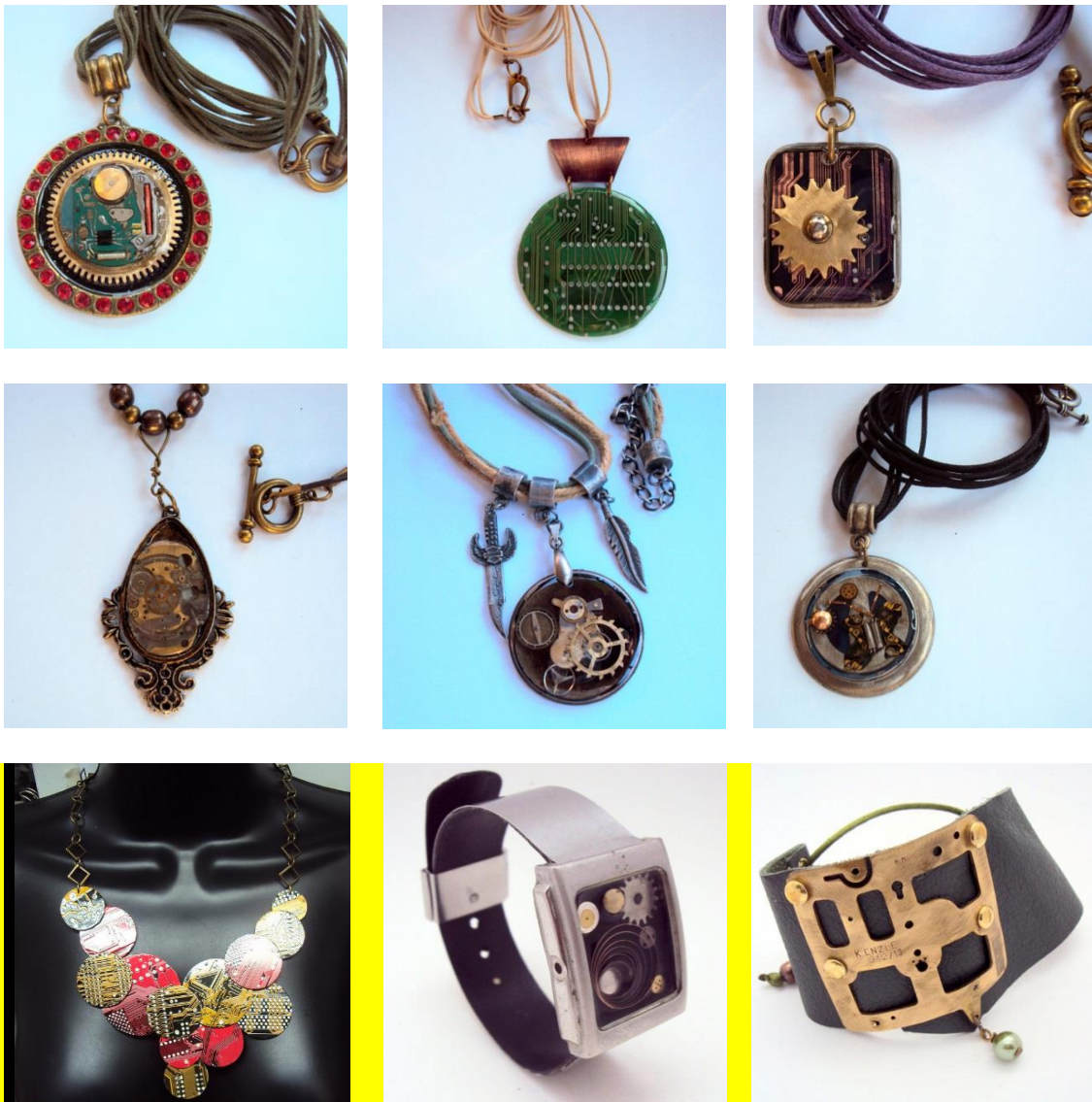
No Brasil, a artista Naná Hayne, com formação em programação visual, desenvolve vitrines e outros ambientes, utilizando partes encontradas no lixo eletrônico. Além disso, desenvolve bijuterias artesanais que são vendidas em seu blog. Os materiais usados pela artista incluem pedaços de gabinetes, teclas, eletrodos, pedaços de disquetes, fios, cabos e componentes de placas de circuito. Os preços variam em: R\$18,00 (anel); R\$ 29,00 (colar); R\$ 25,00 (brincos), conforme ilustrado na figura 11. Alguns produtos que não apresentavam o valor (todos já haviam sido vendidos) serão ilustrados na figura 12, devido ao fato de apresentarem um visual bastante interessante. (<<http://tecnologia.terra.com.br/campuspartybrasil/interna/0,,OI2449086-EI11308,00-Artista+transforma+lixo+eletronico+em+bijouterias.html>>; <nanahayne.wordpress.com/> - acesso em: 10 ago. 2013).

Figura 11 – Produtos a venda - Naná Hayne



Fonte: <nanahayne.wordpress.com/> - acesso em: 10 ago. 2013.

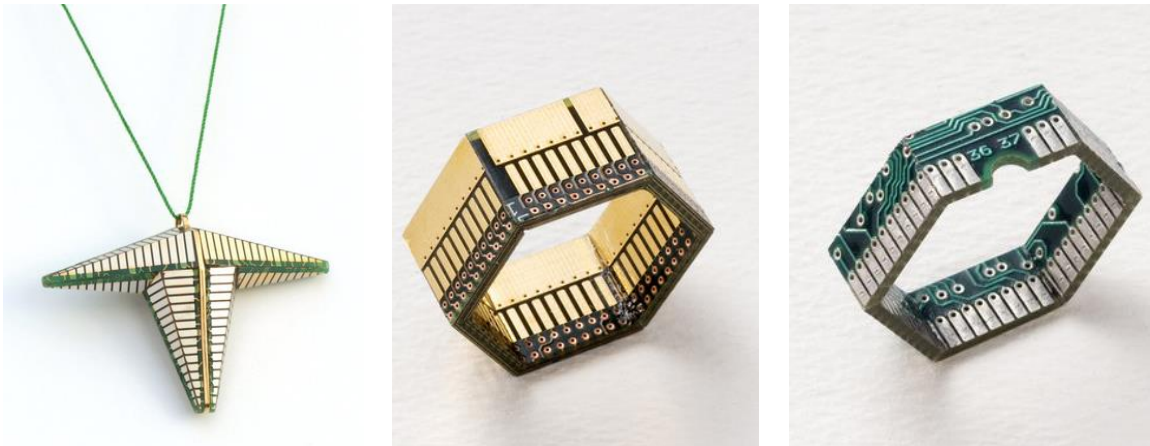
Figura 12 – Produtos - Naná Hayne



Fonte: <nanahayne.wordpress.com/> - acesso em: 10 ago. 2013.

A designer japonesa Yuma Fujimaki criou uma coleção de joias desenvolvidas a partir de peças de computador. Os produtos criados (figura 13) são vendidos com preço sob consulta no site da designer. (<<http://www.yumafujimaki.com/>> - acesso em 11 ago. 2013).

Figura 13 – Produtos – Yuma Fujimaki



Fonte: <<http://www.yumafujimaki.com/works/>> - acesso em: 11 ago.2013.

Em Jerusalém, a designer industrial, Antonina, desenvolveu o projeto “Eu costumava ser uma máquina de lavar”. Trata-se de um manual que indica uma variedade de possibilidades de uso das matérias-primas resultantes da desmontagem de uma máquina de lavar roupas. Depois de desmontar as peças necessárias, o manual indica os passos para a construção de cadeiras que podem ser inseridas em qualquer espaço doméstico. O resultado desse processo pode ser visto na figura 14. (<<http://www.designboom.com/design/i-used-to-be-a-washing-machine-now-im-a-chair/>> - acesso em 11 ago. 2013).

Figura 14 – Produtos – Projeto: “Eu costumava ser uma máquina de lavar” - Antonina



Fonte: <<http://www.designboom.com/design/i-used-to-be-a-washing-machine-now-im-a-chair/>> - acesso em: 11 ago.2013.

O International E-Waste Design Competition, um concurso de design que ocorre anualmente nos Estados Unidos, desde 2009, tem como objetivo a apresentação de propostas criativas de reaproveitamento do lixo eletrônico - através da criação de objetos com diferentes utilidades, bem como de evitar seu acúmulo – através de novos produtos e serviços que venham a contribuir com a redução desse tipo de resíduo. (<<http://www.ewaste.illinois.edu/>> - acesso em: 10 ago. 2013).

Diversas outras propostas foram encontradas durante essa pesquisa. Na internet é possível encontrar uma variedade de produtos desenvolvidos a partir do uso do lixo eletrônico. Muitas pessoas ao se depararem com seu produto em fim de vida colocam a criatividade em prática e dão uma nova utilidade ao produto que seria descartado. Alguns exemplos podem ser vistos na figura 15.

Figura 15 – Produtos desenvolvidos a partir do lixo eletrônico - diversos



<<http://chiligueta.blogspot.com.br/2011/01/reutilizacao-na-pratica.html>>



<<http://www.roselypignataro.com.br/2013/02/reciclando-o-monitor-do-computador.html>>



<<http://garotasgeeks.com/2012/04/16/7-ideias-para-voce-reutilizar-um-computador-velho/>>;

<<http://2012.latinoware.org/2012/10/lixo-eletronico-se-transforma-em-verdadeira-obra-de-arte/>>

2.5 POLÍTICAS AMBIENTAIS

De acordo com Rossem (2008) as políticas ambientais tradicionais são focadas, principalmente, nos impactos ambientais causados pelas atividades de produção e, apesar de ser eficaz na redução dos níveis de poluição gerados por fontes pouco poluentes, sua eficácia é reduzida nos problemas relacionados ao consumo orientado e nas emissões generalizadas dos produtos. Neste contexto, surge a Extended Producer Responsibility (EPR), uma política mais ampla, voltada

aos impactos gerados em todo o ciclo de vida do produto, compreendendo desde sua fase de projeto até a gestão do produto em fim de vida.

Segundo Tojo (2004) um número crescente de governantes, principalmente dos países membros da OECD, vêm incorporando o conceito EPR em suas políticas ambientais desde os anos 1990. Um programa EPR visa à administração adequada de produtos em fim de vida, bem como o fornecimento de incentivos para os fabricantes de produtos que geram menor impacto ambiental na fase final de seu ciclo de vida.

De acordo com Manzini e Vezzoli (2002) a aplicação mais conhecida dessa norma aconteceu na Alemanha, com o decreto relativo às embalagens (decreto Topfer). Citando os países europeus, a Alemanha, a Holanda, a Dinamarca, a França, a Bélgica e a Áustria fizeram outras aplicações ou propostas de aplicações, desta vez, relativas aos produtos elétricos e eletrônicos e aos automóveis.

A EPR é uma estratégia que visa atribuir aos fabricantes a responsabilidade física e financeira pelos impactos ambientais de seus produtos em fim de vida através do fornecimento de incentivos, motivando-os para a redução do uso de recursos naturais e para o uso de materiais secundários no desenvolvimento de produtos bem como, para que façam alterações em seus projetos objetivando a redução do desperdício, aliviando, desta forma, os municípios de alguns dos encargos financeiros relativos à gestão de resíduos (ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, 2001).

A EPR é um veículo para a inovação na concepção de produtos e sistemas de produtos. Pelo fato de uma implementação EPR atribuir ao fabricante a responsabilidade física e econômica por seus produtos ao longo do seu ciclo de vida, ela incentiva uma mudança no sentido de se desenvolver as funções dos produtos de uma forma mais eficiente. Isto pode ser o impulso necessário para uma mudança nos sistemas de produtos e serviços. Ele vai certamente aumentar o interesse para atividades de re-fabricação no setor que é fabricante e fornecedor de produtos complexos (LINDHQVIST, 2000).

Segundo dados da Organization for Economic Co-operation and Development (OECD, 1998) o conceito EPR aumenta a responsabilidade de um produtor para a fase pós-consumo de um produto, o que estimula o produtor a estudar com cautela a

concepção de um novo produto, com isso, os custos de gestão de resíduos são reduzidos, além disso, os programas EPR contribuem nos seguintes aspectos:

- a) prevenção e redução de resíduos;
- b) a reutilização do produto;
- c) aumento da utilização de materiais reciclados na produção;
- d) atenuação do consumo de recursos naturais;
- e) incorporação dos custos ambientais nos preços dos produtos;
- f) recuperação de energia quando a incineração é considerada adequada.

A maior fabricação de produtos no mundo industrializado provém da indústria eletrônica e, devido ao seu volume global ser crescente, geralmente, em seu fim de vida os equipamentos elétricos e eletrônicos são desviados para aterros e incineradores, o que gera um grande problema, pois, esse tipo de resíduo contém substâncias perigosas, como cádmio, chumbo, mercúrio e retardadores de chamas bromados. Neste sentido, os governos devem direcionar programas EPR a produtos, que têm alto volume no fluxo de resíduos, são grandes ou difíceis de gerir, ou ainda, que possam conter substâncias prejudiciais à saúde humana ou ao meio ambiente (TOJO *et al.*, 2001).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n. 12.305/2010), depois de quase vinte anos tramitando no Congresso Nacional, foi aprovada em 2010.

A lei tem como princípios a prevenção e a precaução; o desenvolvimento sustentável; a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade; a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania; entre outros. E, como objetivos a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como a disposição final, ambientalmente adequada, dos rejeitos; estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos; incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados; entre outros. (Lei n. 12.305/2010),

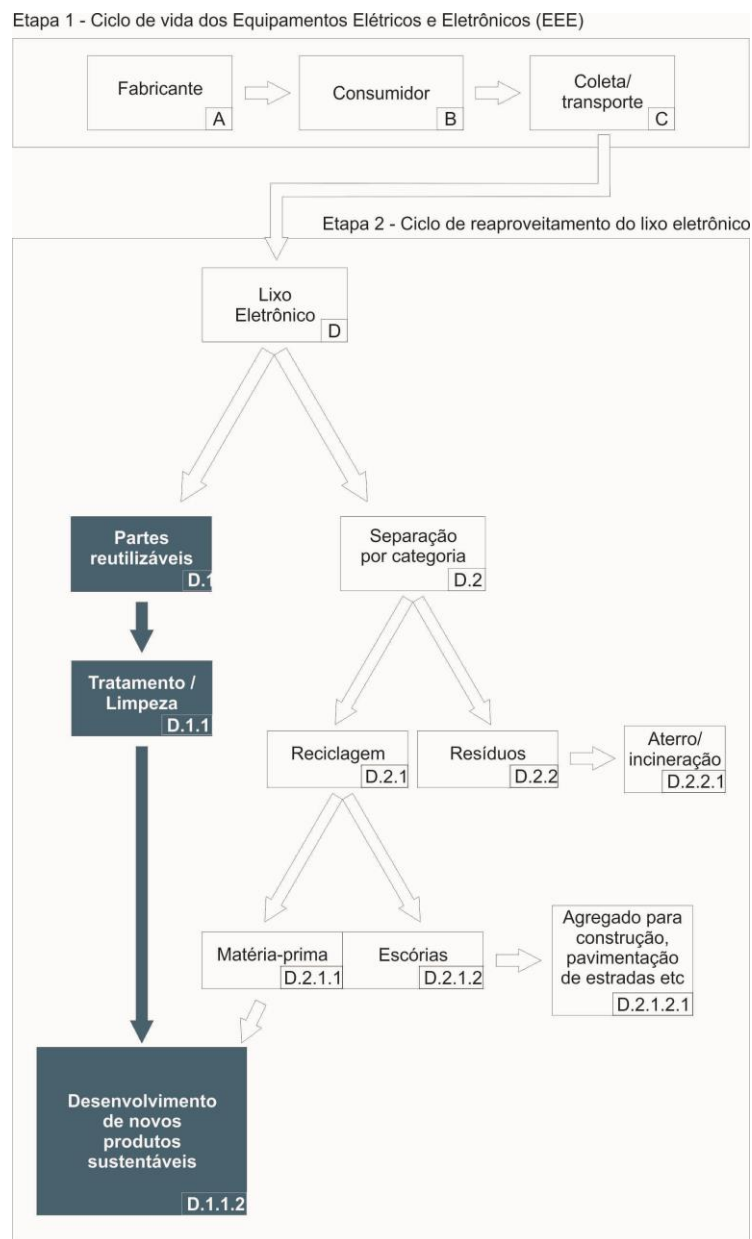
Os fabricantes importadores, distribuidores e comerciantes de agrotóxicos; pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificantes; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; *produtos eletroeletrônicos e seus componentes*; são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, dos produtos em fim de vida, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos. Entende-se como efeito dessa lei um acordo setorial, feito através de contrato entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, visando à implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto (Lei n. 12.305/2010).

O art. 54 da Política Nacional de Resíduos Sólidos impõe que a disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, deverá ser implantada até o ano de 2014. E, o art. 9º dispõe a respeito da ordem de prioridade de gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos, que deve ser a seguinte: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (Lei n. 12.305/2010).

3 MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS SUSTENTÁVEIS A PARTIR DO USO LIXO ELETRÔNICO

Este capítulo apresenta o método proposto para o desenvolvimento de produtos sustentáveis através do uso do lixo eletrônico, que é composto por duas etapas conforme ilustrado na figura 16, que são: i) **etapa 1** – o ciclo de vida dos equipamentos elétricos e eletrônicos; e ii) **etapa 2** - o reaproveitamento das partes descartadas para o desenvolvimento de novos produtos.

Figura 16 – Método de Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis a Partir do Uso do Lixo Eletrônico.



Fonte: O autor.

Convém ressaltar que esta pesquisa explora exclusivamente o desenvolvimento de produtos a partir das *partes reutilizáveis* do lixo eletrônico focando as atividades de *design* de produtos sustentáveis. O método aborda a *reciclagem* com o objetivo de mostrar o ciclo completo de reaproveitamento do lixo eletrônico, porém, esta fase não será explorada para o desenvolvimento de novos produtos nesta pesquisa.

3.1 CICLO DE VIDA DOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS (ETAPA 1)

A “*Etapa 1*” é dividida em 3 fases (figura 16) e tem como objetivo demonstrar simplificadaamente como ocorre o ciclo de vida dos EEE, desde a indústria até sua coleta/transporte, conforme descrito a seguir:

- a) **Fabricante/indústria (figura 16 - detalhe “A”)**: é o responsável pela fabricação dos EEE, ou seja, este é o ponto de partida, onde se inicia o ciclo de vida do produto. Conforme apresentado no item 2.3.1 desta pesquisa, nesta fase ocorrem três das cinco etapas do ciclo de vida do produto. As etapas compreendidas nesta fase são: a etapa de *pré-produção*, onde se inicia a extração dos recursos necessários para a sua produção, passando pela fase de transporte dos recursos e finalizando a transformação dos recursos em materiais e em energia; a etapa de *produção*: onde os materiais são transformados e a montagem e o acabamento são executados. Nela, também ocorre à pesquisa, o desenvolvimento, o projeto, os controles produtivos; além do gerenciamento dessas atividades; e a etapa de distribuição: onde o produto é embalado, transportado e armazenado;
- b) **Consumidor / agente gerador (figura 16 - detalhe “B”)**: após a fabricação, os produtos chegam ao consumidor que fazem uso de seus benefícios até que eles estejam atendendo suas necessidades de forma satisfatória. Hoje o ciclo de vida dos produtos está muito reduzido, pois, produtos com novas funções e estética estão disponíveis num espaço de tempo cada vez menor, o que leva ao desuso, muitas vezes, precoce do produto, para a inserção de uma nova versão. Geralmente, os produtos em desuso são descartados de forma incorreta, muitas vezes, por falta de informação ou até mesmo por não

haver um local adequado destinado especificamente para o descarte. De acordo com o item 2.3.1 desta pesquisa, nesta fase ocorre a etapa de *uso* que se caracteriza pela utilização ou consumo e pelo serviço. Nesta fase, diversos produtos utilizam materiais e recursos energéticos para que possam exercer sua função, produzindo, dessa forma, resíduos e refugos; (os EEE são um dos grandes consumidores na fase de uso)

- c) **Coleta / transporte (figura 16 - detalhe “C”)**: como descrito no item 2.3.1 desta pesquisa esta é a fase que corresponde à etapa de *descarte*. Nela ocorre à eliminação do produto que pode ser reutilizado (de forma total ou parcial, para a mesma função ou para uma função totalmente nova), reciclado e o que não possui nenhum potencial de reaproveitamento ou reciclagem, é destinado a aterros ou incineração.

Para que isto seja possível, os produtos descartados necessitam de um destino correto. Neste, sentido, é necessário que haja um sistema bem definido e estruturado de coleta e transporte. Nesta pesquisa será adotado o uso do sistema Extended Producer Responsibility (EPR). Conforme apresentado no item 2.5, este sistema estende a responsabilidade do fabricante até a fase pós-consumo de um produto, ou seja, com a adoção da EPR, a coleta dos equipamentos em fim de vida, torna-se responsabilidade do fabricante e envolve o consumidor, pois, este, será responsável em entregar os produtos que estão em desuso nos locais indicados. Esta coleta pode ocorrer de duas formas: *i*) através de pontos de coleta instalados em revendedoras (no caso de produtos pequenos como aparelhos celulares, notebooks, baterias, entre outros); ou *ii*) através de um disque coleta para produtos que necessitam de transporte específico devido as suas dimensões elevadas (geladeiras, máquinas de lavar, freezers, entre outros). A figura 17 mostra alguns EEE de pequenas e grandes dimensões.

Figura 17 – Equipamentos Elétricos e Eletrônicos



O sistema EPR além de responsabilizar o fabricante pela coleta e transporte do equipamento em fim de vida, ainda estimula o produtor a estudar com cautela a concepção de um novo produto, com isso, os custos de gestão relacionados aos resíduos são reduzidos, além de contribuir com aspectos como a reutilização de partes do produto; o aumento da utilização de materiais reciclados na produção; a atenuação do consumo de recursos naturais; a incorporação dos custos ambientais nos preços; entre outros (OECD, 1998). Ou seja, com a adoção desse sistema para otimizar a coleta e o transporte, um outro benefício pode ser conquistado, que é o da conscientização do fabricante no desenvolvimento de produtos “mais limpos” o que, além, de reduzir os impactos ambientais na produção, facilita todo o processo que virá com o pós descarte do produto.

Encerrado a etapa do ciclo de vida dos EEE é possível dar início à etapa de reaproveitamento do lixo eletrônico que levará ao desenvolvimento de novos produtos.

3.2 CICLO DE REAPROVEITAMENTO (ETAPA 2)

A “*Etapa 2*” consiste do reaproveitamento do lixo eletrônico com foco no desenvolvimento sustentável de novos produtos (figura 16). Esta etapa é composta de quatro fases que têm como objetivo identificar as partes com potencial de reutilização, bem como indicar todo o desdobramento para chegar a soluções de novos produtos. São elas:

- a) Lixo eletrônico;
- b) Partes reutilizáveis;
- c) Tratamento / Limpeza;
- d) Desenvolvimento de novos produtos sustentáveis.

3.2.1 Lixo eletrônico (figura 16 - detalhe “D”)

Após coletados os EEE em fim de vida, têm-se o lixo eletrônico proveniente de diversos aparelhos (ver figura 17). Nessa fase todas as partes identificadas com potencial para reutilização são separadas (Figura 16 - D.1 – partes reutilizáveis) e, o

restante do lixo é separado por categorias (Figura 16 - D.2 – separação por categorias).

Figura 18 – Lixo eletrônico



3.2.2 Partes reutilizáveis (figura 16 - detalhe “D.1”)

Nesta etapa devem ser resgatadas as partes com potencial de reutilização para o desenvolvimento de novos produtos. Peças como a carcaça do monitor e o CPU do computador de mesa, carcaça de geladeiras, freezers, máquinas de lavar, entre outras, devem ser resgatadas. Não há uma regra para a escolha das partes a serem reaproveitadas, ou seja, qualquer parte identificada com potencial para exercer uma nova função em outro produto deve ser separada. De acordo com Baxter (2011) o coração do *design* é a criatividade e ela deve ser praticada em todos os estágios do desenvolvimento de produtos. Ainda de acordo com o autor, a mente do *designer* deve trabalhar livremente, fugindo dos bloqueios provenientes do pensamento convencional, desde a identificação de uma oportunidade até a engenharia de produção.

3.2.3 Tratamento / limpeza (figura 16 - detalhe “D.1.1”)

As partes reutilizáveis devem passar por um processo de tratamento/limpeza antes de se iniciar o processo de desenvolvimento de novos produtos. Com isso, elas estarão prontas para serem destinadas ao desenvolvimento de novos produtos, ou seja, o que antes era considerado lixo, passa a ter potencial para desenvolver uma nova função, sem qualquer relação com as funções antes exercidas pelos EEE, ganhando dessa forma, um novo valor.

O modelo proposto apresenta a *reciclagem* (D.2.1) podendo levar ao desenvolvimento de novos produtos sustentáveis, porém, nessa pesquisa o foco será o desenvolvimento de produtos a partir das partes reutilizáveis. De acordo com

Otte (2008) a facilitação da desmontagem, a reutilização do produto inteiro ou partes dele, a remanufatura e a reciclagem são pontos essenciais no projeto de produtos para contribuir com a redução dos impactos resultantes da eliminação do produto. Além disso, o design ambientalmente adequado deve encontrar formas de integração entre inovação, sustentabilidade e custo para ser considerado viável, apresentando, desta forma, um produto com características que otimizam a fase de uso através da multifuncionalidade, da versatilidade e da redução dos impactos.

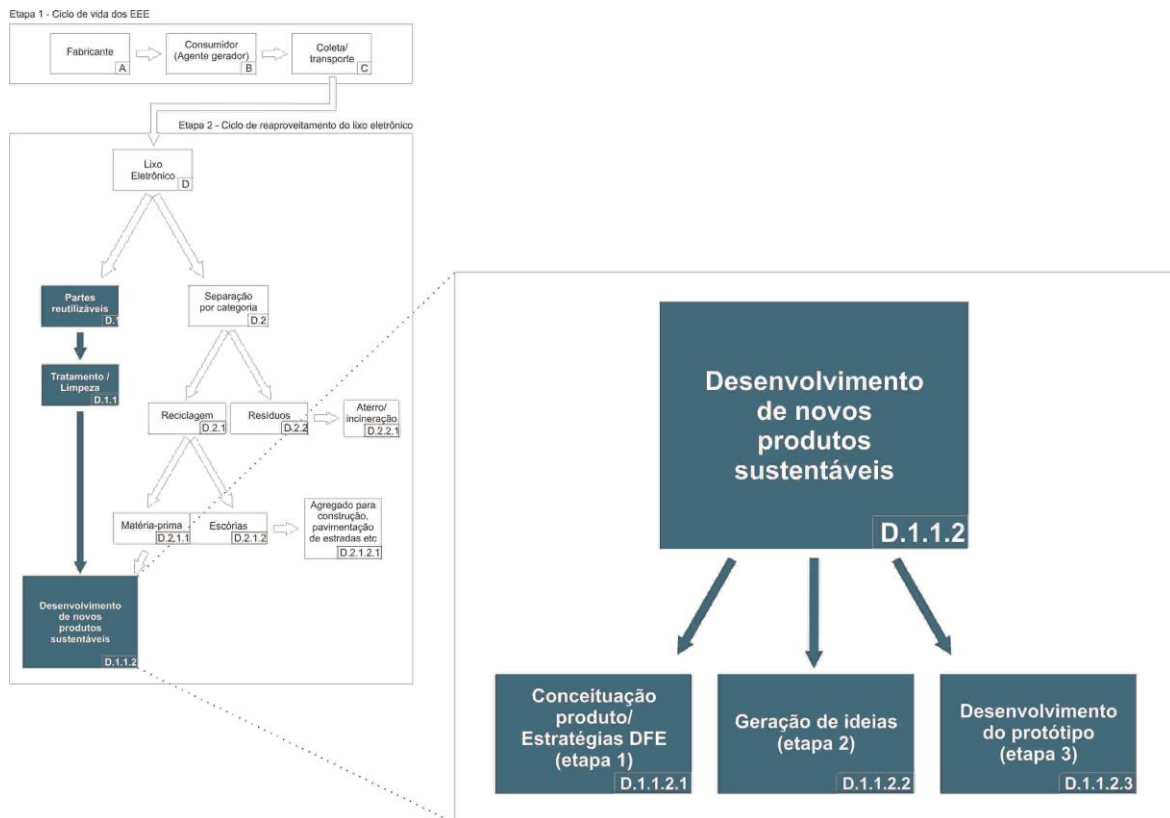
E, segundo Manzini e Vezzoli (2002), levando-se em consideração os impactos ambientais, no momento do descarte/eliminação, seria mais vantajoso fazer a reutilização do produto ou de parte dele, ao invés de recicla-lo ou fazer a incineração de seus materiais.

3.2.4 Desenvolvimento de novos produtos sustentáveis (figura 16 - detalhe “D.1.1.2”)

As partes resgatadas para reutilização tornar-se-ão novos produtos (ou partes de novos produtos) e receberão tratamento, pintura, e até novos acessórios e o que mais for necessário para exercer a nova função de forma completa. No caso da necessidade de novos acessórios não inclusos no lixo eletrônico, estes, serão de matéria-prima de baixo impacto ambiental, seguindo as estratégias de Ecodesign, levando em consideração os aspectos ambientais em todas as fases do processo de desenvolvimento do produto, desta forma, é possível se chegar a soluções inovadoras sem ter que causar novos danos ao meio ambiente.

Neste método, o desenvolvimento de novos produtos sustentáveis, segue uma sequência de três etapas definidas com base na revisão da literatura. Quanto ao processo de PDP tradicional, serão seguidas as diretrizes de Baxter (2011) que ressalta que apesar de o modelo de desenvolvimento de produtos ser estruturado em fases, ele não é um processo linear, já que as atividades podem tanto avançar, quanto retroceder etapas ao longo do processo de desenvolvimento, bem como aparecer entrelaçadas. O processo de desenvolvimento de produtos sustentáveis a partir do uso do lixo eletrônico é dividido em três fases: *i) conceituação/definição das estratégias DFE, ii) geração de ideias e, iii) desenvolvimento do protótipo*, conforme ilustrado na figura 19.

Figura 19 – Etapas do desenvolvimento de novos produtos sustentáveis



Fonte: O autor.

3.2.4.1 Conceituação do produto / estratégias DFE (figura 19 – detalhe “D.1.1.2.1”)

De acordo com Baxter (2011) essa é a etapa de desenvolvimento chamada de *Projeto Conceitual* que tem como objetivo produzir princípios de projeto para o novo produto, onde são desenvolvidas as linhas básicas de forma e função, ou seja, além da funcionalidade, deve ser definido o estilo do produto, agregando valor ao mesmo, através de seu diferencial estético. No projeto conceitual deve ser mostrado como o produto será feito para atingir os benefícios básicos. O autor ressalta que o benefício básico deve ser bem definido nesta etapa.

Ainda de acordo com o autor, o processo de geração de ideias de conceitos é a essência do projeto conceitual e, neste processo a mente do *designer* deve trabalhar livre dos bloqueios provenientes do pensamento convencional. O principal fator para a geração de novos conceitos é o entendimento do problema e a prática da criatividade, por isso, deve-se evitar o julgamento das ideias quando ainda estão sendo geradas, evitando assim, que este preconceito venha a interferir no processo criativo. Além disso, o autor ressalta que uma das técnicas que pode ser utilizada na

geração de novos conceitos é análise do ciclo de vida, geralmente usada pelos *designers* visando à redução dos impactos ambientais do produto.

Dessa forma, para a definição do conceito, serão utilizadas as estratégias de LCD apresentadas por Manzini e Vezzoli (2002), já que, estas apresentam objetivos específicos relacionados ao DFE (figura 6 - Benefícios do DFE, item 2.3.2). Para que os requisitos ambientais possam ser integrados no desenvolvimento dos produtos é necessário que se definam as estratégias que devem ser aplicadas na fase do projeto conceitual. De acordo com os autores, para que seja possível uma aplicação eficaz das estratégias ambientais, é importante identificar o tipo de produto que será desenvolvido. Diante disso, os tipos de produtos são classificados em duas categorias: os bens de consumo (monouso) e os bens duráveis (multiuso).

Os bens de consumo (monouso) se dividem em duas subcategorias:

- a) bens que são consumidos durante o uso, como por exemplo, a comida e os detergentes – para esses tipos de produtos deve-se focar na minimização do consumo dos recursos e na escolha dos recursos de baixo impacto ambiental.
- b) bens monouso que podem ser reutilizados, reciclados ou substituídos, como por exemplo, as embalagens, os jornais, os barbeadores descartáveis, estes, são produtos cujo impacto, normalmente, é maior nas fases de produção e eliminação – para este tipo de produto deve-se focar na otimização da vida dos produtos.

Os bens duráveis (multiuso) também se dividem em duas subcategorias:

- a) bens que utilizam pouco ou nenhum recurso (energia e materiais) durante seu uso e manutenção, como por exemplo objetos de utilidade doméstica, mobiliário, produtos decorativos, vestuário, acessórios (joias/ bijouterias, óculos de sol entre outros). O impacto desses produtos é maior nas fases de pré-produção, produção, distribuição e descarte/eliminação. A prioridade com relação à redução dos impactos ambientais está na minimização do consumo e impacto dos recursos nas atividades produtivas e de distribuição. Para se minimizar os impactos na fase de descarte pode ser estendida a vida dos materiais, porém, muitas vezes, a melhor opção é adiar esse impacto, aumentando a vida dos produtos.

b) os bens que precisam de recursos (energia e materiais) durante seu uso e manutenção, como por exemplo, máquinas de lavar, geladeiras, computadores, equipamentos industriais, entre outros. Esta é a categoria que gera maiores dúvidas com relação à extensão da sua vida. Uma opção mais eficaz, nesse caso, seria a redução dos consumos de recursos durante o uso. A extensão da vida útil pode ser bastante controversa, levando-se em consideração o desenvolvimento da tecnologia que permite o desenvolvimento de produtos com maior eficiência ambiental.

Diante da definição dos tipos de bens, é possível perceber que não há possibilidades de reaproveitamento através da reutilização de partes do lixo eletrônico para o desenvolvimento de produtos do tipo “bens de consumo monouso” em nenhuma das subcategorias. Já na categoria “bens duráveis (multiuso)”, é possível identificar uma subcategoria onde as partes reutilizáveis podem ser utilizadas para o desenvolvimento de novos produtos: os “bens que utilizam pouco ou nenhum recurso (energia e materiais) durante seu uso e manutenção”. A outra subcategoria é a de “bens que precisam de recursos (energia e materiais) durante seu uso e manutenção” que é composta por produtos elétricos e eletrônicos e, portanto, não se encaixa para o desenvolvimento de novos produtos a partir do uso de partes reutilizáveis do lixo eletrônico, já que o objetivo desse método é a redução da quantidade de lixo proveniente de EEE no meio ambiente.

Com base na definição dos “bens que utilizam pouco em nenhum recurso (energia e materiais) durante seu uso e manutenção”, são identificadas as principais estratégias DFE (quadro 3 – item 2.3.2) que devem ser consideradas no projeto, ordenadas de acordo com a prioridade, que são: *i) minimização dos recursos e escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental; e ii) otimização da vida do produto*. As recomendações e as principais práticas a serem adotadas, dentro de cada uma dessas estratégias, para o desenvolvimento de produtos sustentáveis, são apresentadas nos quadros 7 e 8.

Além do DFE, uma segunda ferramenta DFX será utilizada com o objetivo de complementar as estratégias DFE: o DFD, que de acordo com Manzini e Vezzoli (2002) é a última estratégia do LCD, chamada, por eles de *facilitando a desmontagem* e, segundo os autores, esta estratégia é funcional para a otimização da vida dos produtos e para a extensão da vida dos materiais.

Quadro 7 – Estratégia DFE - Minimização dos recursos e Escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental

Recomendações	Práticas a serem adotadas
Minimizar o conteúdo material do produto	<ul style="list-style-type: none"> • Desmaterializar o produto ou alguma de suas partes. • Digitalizar o produto ou alguma de suas partes. • Miniaturizar. • Evitar dimensionamentos excessivos. • Minimizar as espessuras dos componentes. • Usar nervuras para enrijecer as estruturas. • Evitar componentes ou partes que não sejam estritamente funcionais.
Minimizar as perdas e refugos	<ul style="list-style-type: none"> • Escolher os processos produtivos que minimizem o consumo de materiais. • Adotar sistemas de simulação para a otimização dos parâmetros dos processos de transformação.
Minimizar o consumo de energia na produção	<ul style="list-style-type: none"> • Escolher os processos produtivos com menor consumo energético. • Utilizar instrumentos e aparelhagens produtivas eficientes. • Utilizar o calor disperso por algum processo produtivo, para o pré aquecimento de alguns fluxos de determinados processos.
Minimizar o consumo de recursos no desenvolvimento de produtos	<ul style="list-style-type: none"> • Usar instrumentos informáticos para o projeto, modelagem e prototipagem. • Usar instrumentos informáticos para arquivamento, comunicação escrita e apresentações. • Usar instrumentos de telecomunicações para atividades à distância
Minimizar o uso de recursos na distribuição	<ul style="list-style-type: none"> • Projetar produtos compactos com alta densidade de transporte e de armazenagem. • Projetar produtos montáveis no local de uso • Tornar os produtos mais leves.
Minimizar o consumo de recursos durante o uso	<ul style="list-style-type: none"> • Projetar produtos de uso coletivo. • Projetar buscando a eficiência do consumo de recursos que sejam suficientes para o funcionamento do produto. • Projetar para a eficiência do uso dos recursos e manutenção. • Minimizar o peso dos produtos que devem ser movidos. • Facilitar o uso da economia de energias e de materiais.
Escolher materiais e processos de baixo impacto	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar inserir materiais tóxicos e danosos no produto. • Minimizar o risco dos materiais tóxicos e danosos. • Evitar aditivos que causam emissões tóxicas e danosas. • Evitar acabamentos tóxicos e danosos. • Escolher os materiais com menor conteúdo tóxico de emissões na pré-produção. • Usar materiais renováveis. • Evitar o uso de materiais que estão para se exaurir. • Usar materiais que provenham de refugos de processos produtivos. • Usar componentes que provenham de produtos já eliminados. • Usar materiais reciclados, em separado ou junto com outros materiais virgens. • Escolher tecnologias de transformação dos materiais de baixo impacto. • Usar materiais biodegradáveis.
Escolher recursos energéticos de baixo impacto	<ul style="list-style-type: none"> • Escolher fontes energéticas renováveis. • Escolher fontes energéticas que minimizem as emissões nocivas durante as fases de pré-produção e produção. • Escolher fontes energéticas locais • Escolher fontes energéticas que minimizem as emissões nocivas durante a fase de distribuição • Escolher fontes energéticas que minimizem as emissões nocivas na fase de uso • Escolher fontes energéticas que minimizem os lixos e as escórias tóxicas nocivas • Adotar uma relação do tipo “efeito cascata”

Quadro 8 – Estratégia DFE – Otimização da vida dos produtos

Recomendações	Práticas a serem adotadas
Projetar a duração adequada	<ul style="list-style-type: none"> • Projetar vidas iguais para os vários componentes. • Projetar uma vida útil dos componentes correspondente à duração prevista para substituí-los durante o seu uso. • Escolher os materiais duráveis considerando as serventias e a vida útil do produto. • Evitar materiais permanentes para funções temporárias.
Projetar a segurança	<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar o número de partes e componentes. • Simplificar os produtos. • Evitar junções frágeis
Facilitar a atualização e a adaptabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitar a substituição, para a atualização das partes de <i>hardware</i>. • Projetar produtos modulares e reconfiguráveis para a adaptação em relação a diversos ambientes. • Projetar produtos reconfiguráveis e/ou multifuncionais, para a adaptação em relação à evolução física e cultural dos indivíduos. • Projetar buscando facilitar a atualização no próprio local de uso.
Facilitar a manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitar a substituição das partes que necessitem de manutenção periódica, simplificando o acesso e remoção. • Facilitar o acesso às partes que devem ser limpas, evitando espaços e orifícios estreitos. • Prover e facilitar a substituição dos componentes de forma mais veloz. • Projetar para a manutenção ser fácil no próprio local de uso. • Projetar procurando reduzir as operações de manutenção.
Facilitar o reparo e a reutilização	<ul style="list-style-type: none"> • Predispor e facilitar a remoção e retorno das partes do produto que estão sujeitas a dano. • Projetar partes e componentes standardizados. • Projetar buscando facilitar o reparo no local de uso. • Incrementar a resistência das partes mais sujeitas a avarias e rupturas. • Predispor o acesso para facilitar a remoção das partes e componentes que podem ser reutilizados. • Projetar partes e componentes intercambiáveis e modulares. • Projetar partes e componentes standardizados. • Projetar a reutilização de partes auxiliares. • Projetar prevendo um segundo uso.
Facilitar a refabricação	<ul style="list-style-type: none"> • Projetar procurando facilitar a remoção e a substituição das partes mais facilmente avariadas. • Projetar as partes estruturais separáveis das de acabamento. • Facilitar o acesso às partes que devem ser refeitas. • Projetar partes e acabamentos reforçados para algumas superfícies que se deterioram.
Intensificar a utilização	<ul style="list-style-type: none"> • Projetar produtos – serviços voltados para o uso compartilhado. • Projetar produtos – serviços voltados para o uso coletivo. • Projetar produtos multifuncionais com componentes comuns e substituíveis. • Projetar produtos com funções integradas.

Fonte: Manzini e Vezzoli (2002).

Para Manzini e Vezzoli (2002) a prática do DFD pode contribuir tanto para a extensão da vida dos produtos e dos materiais, ou ainda para facilitar a extinção definitiva do produto. Além disso, a facilitação da desmontagem pode levar a uma redução dos custos de manutenção, reparo, atualização, refabricação e reutilização, bem como, dos custos relacionados à reciclagem, a compostagem ou a incineração.

O quadro 9 mostra as recomendações principais do DFD adotadas para utilização no desenvolvimento de produtos sustentáveis a partir do uso do lixo eletrônico.

Quadro 9 – Estratégia DFD – Facilitação da desmontagem

Recomendações	Práticas a serem adotadas
Minimizar e facilitar as operações para a desmontagem e separação	<ul style="list-style-type: none"> • Tornar desmontáveis principalmente os materiais tóxicos e nocivos. • Tornar desmontáveis principalmente as partes ou os materiais de maior valor econômico. • Tornar desmontáveis principalmente as partes mais sujeitas a desgaste e/ou quebras. • Adotar estruturas modulares. • Subdividir o produto em subconjuntos que possam ser facilmente separados e manipulados como partes individuais. • Minimizar as dimensões do produto e de seus componentes. • Facilitar a extração dos componentes e dos subconjuntos. • Procurar a máxima linearidade no direcionamento da desmontagem. • Adotar estruturas de desmontagem em forma de “sanduíche”, posicionadas na direção vertical e que contenham elementos de fixação de fácil acesso. • Evitar partes assimétricas desnecessárias. • Dispor os componentes pesados na base e próximos ao centro de gravidade. • Projetar considerando a fácil centralização dos componentes na base do produto. • Evitar sistemas de fixação que, para a abertura do produto, exijam intervenções concomitantes em mais de um ponto. • Minimizar o número de fixações. • Minimizar os tipos de fixação que necessitam instrumentos diferenciados para remoção. • Evitar fixações de difícil movimentação. • Projetar vias acessíveis e identificáveis para as operações de desmontagem. • Projetar buscando um fácil acesso e inspeção dos pontos de separação dos componentes.
Usar sistemas de junções removíveis	<ul style="list-style-type: none"> • Usar juntas de garras de duas vias. • Quando existir risco de abertura involuntária de uma das partes, usar juntas de garras que se abram somente com instrumentos especiais. • Projetar junções com materiais que se tornem reversíveis apenas em condições especiais. • Usar parafusos de cabeças hexagonais. • Atravessar o parafuso e travá-lo com um pino ou clipe, para que se possa removê-lo novamente. • Usar parafusos compatíveis com os materiais afixados, para não ser necessária a sua extração, quando em caso de reciclagem do material. • Em componentes poliméricos, quando possível, usar parafusos auto-atarraxantes, evitando assim os insertos metálicos.
No caso de uso de sistemas de junção permanente, que estes sejam de fácil abertura	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar rebites em materiais incompatíveis entre si. • Evitar sistemas de pressão em materiais incompatíveis entre si. • Evitar material adicional para soldura. • Soldar usando material compatível com as partes que devem ser unidas. • Evitar a colagem com adesivos. • Usar adesivos (se necessário) de fácil remoção.
Prever tecnologias e equipamentos específicos para a desmontagem destrutiva	<ul style="list-style-type: none"> • No produto, incluir elementos ou dispositivos de separação dos materiais incompatíveis entre si. • Usar elementos de junção que possam ser destruídos física ou quimicamente. • Tornar as áreas de ruptura facilmente acessíveis e identificáveis.

Fonte: Manzini e Vezzoli, 2002.

Além das estratégias ambientais, é importante definir as características estéticas, ou, a função simbólica do produto. De acordo com Dorfler (2002), no desenho industrial, os objetos destacam-se por despertar a atenção do consumidor para suas características e qualidades formais, enfatizando que a principal razão das mudanças frequentes nas linhas estéticas do produto, quase sempre, está relacionada com o elemento simbólico, já que as características formais distintas são capazes de fornecer uma mensagem particular em cada produto.

Norman (2008), afirma que há uma relação emocional entre o homem e seus objetos e, justifica tal afirmação da seguinte forma:

Nós nos tornamos apegados a coisas se elas têm uma associação pessoal significativa, se trazem à mente momentos agradáveis e confortantes. [...] Nosso apego não é realmente com a coisa, é com o relacionamento, com os significados e sentimentos que a coisa representa (NORMAN, 2008).

De acordo com Löbach (2001), a função simbólica do produto é determinada pelos aspectos espirituais, psíquicos e sociais do uso, sendo que, seu estímulo se dá através da percepção dos elementos estéticos, tais como forma, cor e superfície. A relação simbólica é estabelecida por associações e ligações, baseadas nas sensações anteriores do usuário. O autor ressalta ainda que as funções estética e simbólica são, muitas vezes, interdependentes, isso, devido ao fato de possuírem uma relação de associação e proximidade.

Segundo Baxter (2011), é importante que se crie relações emocionais entre o usuário e o objeto, fazendo com que o usuário ao ver o produto, sinta uma sensação de familiaridade com o mesmo. Ainda de acordo com o autor, para que seja possível o fortalecimento dessa relação, um novo produto, deve possuir uma diferenciação clara em relação aos já existentes, fato que leva a um evidente acréscimo de valor para o consumidor. Os produtos que possuem essas características têm maior chance de sucesso, comparados com aqueles que apresentam pouca diferenciação e valores adicionais.

Com base no que foi descrito acima, fica clara a importância das características estéticas para que um produto tenha maior valor agregado e conseqüentemente, maior aceitação por parte do consumidor, o que reforça a necessidade de se aliar as características funcionais às estéticas e, no caso dos

produtos sustentáveis, essas características devem estar aliadas à redução dos impactos ambientais no desenvolvimento de produtos.

3.2.4.2 Geração de ideias (figura 19 – detalhe “D.1.1.2.2”)

Com o conceito definido, inicia-se a fase de geração de ideias do produto e de como desenvolvê-lo. De acordo com Baxter (2011) essa etapa é parte da fase de desenvolvimento chamada de *Configuração do Projeto* que se inicia com o conceito definido e finaliza com o desenvolvimento e teste do protótipo. De acordo com Löbach (2001) esta é a fase criativa, e nela, é importante que sejam desenvolvidos esboços de ideias ou modelos tridimensionais dos detalhes das alternativas mais promissoras. O autor ressalta ainda, a importância de que a mente do designer trabalhe livre para gerar o maior número de alternativas possíveis, sem que essas, sejam julgadas durante esse processo. Esta etapa deve compreender as seguintes fases:

- a) geração de ideias, explorando-se todas as formas de fabricação do produto;
- b) seleção das ideias, escolhendo-se a melhor ideia, em comparação com as definições do projeto conceitual;
- c) análise das possibilidades de falha e seus efeitos, para levantar os possíveis pontos de falha do produto.

Na *Configuração do Projeto*, além da geração de ideias, também ocorre o desenvolvimento do protótipo e testes do mesmo, fase que ocorrerá na próxima etapa neste modelo.

3.2.4.3 Desenvolvimento do protótipo (figura 19 – detalhe “D.1.1.2.3”)

A etapa de desenvolvimento do protótipo consiste da construção do protótipo, para aprovar ou rejeitar o projeto. De acordo com Baxter (2011), esta etapa encaixa-se na fase de desenvolvimento chamada de *Configuração do projeto*. Nesta etapa devem ser tomadas as seguintes decisões:

- a) arquitetura do produto (como o produto é organizado em blocos de componentes para ser montado);
- b) forma e função de cada componente;

- c) processo de montagem geral;
- d) tipos de materiais;
- e) processos de fabricação a serem usados na produção.

O processo de desenvolvimento de produtos sustentáveis a partir do uso do lixo eletrônico deve ocorrer de acordo com o processo descrito anteriormente. Este processo tem como objetivo contribuir para a redução do lixo eletrônico no meio ambiente através da sua reutilização no desenvolvimento de produtos sustentáveis, bem como indicar quais os passos a se seguir para se chegar a este resultado.

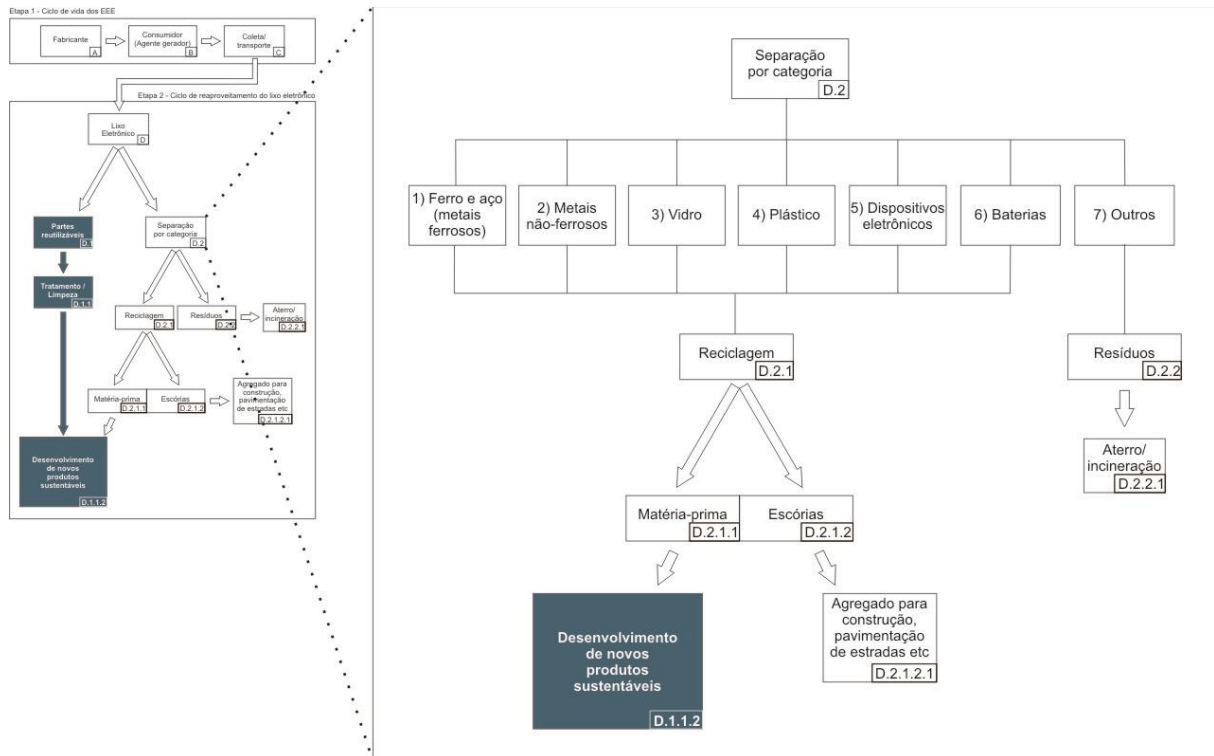
3.2.5 Separação por categoria (figura 16 - detalhe “D.2”)

Agora, será descrita a etapa de *separação por categorias* (figura 16 – detalhe “D.2”) e as etapas que se desdobram até se chegar em um resultado final para a destinação do que restou do lixo eletrônico depois de resgatadas as *partes reutilizáveis*. Apesar de elas serem partes integrantes do modelo, não serão exploradas nesta pesquisa, isto é, sua função aqui será a de completar o ciclo de reaproveitamento do lixo eletrônico.

Depois de resgatadas todas as partes com potencial de reutilização para o desenvolvimento de novos produtos, o que resta são as partes que podem ser separadas por categorias e destinadas à reciclagem ou a disposição final. Como já dito anteriormente, a composição dos WEEE é específica para cada equipamento o que dificulta sua separação. Diante disso, o documento da European Environmental Agency (2003), classificou os WEEE em seis categorias que serão adotadas nesse método para otimizar o processo de reaproveitamento. Entretanto, uma sétima categoria será considerada nesse modelo: as baterias, isto porque, elas estão presentes em boa parte dos equipamentos eletrônicos. Para facilitar a visualização deste processo, a categoria “baterias”, será indicada pelo número “6” e a categoria “outros”, será indicada pelo número “7”, isto porque as seis primeiras possuem potencial para reciclagem e a sétima será destinada à disposição final. Diante disso, a classificação fica a seguinte: 1) ferro e aço (utilizado para carcaças e molduras); 2) metais não-ferrosos (composto especialmente de cobre utilizado em cabos; e alumínio); 3) vidro (utilizado em telas); 4) plástico (utilizado como revestimento em cabos e para placas de circuito); 5) dispositivos eletrônicos (montados em placas de

circuito); 6) baterias; 7) outros (borracha, madeira, cerâmica etc). As etapas que se desdobram a partir da separação do lixo por categorias são ilustradas na figura 20.

Figura 20 – Detalhe da etapa “Separação por categorias” e seu desdobramento até destinação final do lixo eletrônico



Fonte: O autor.

3.2.5.1 Reciclagem (figura 20 - detalhe “D.2.1”)

Com a separação por categorias, boa parte do material é destinado à reciclagem (categorias 1, 2, 3, 4, 5 e 6). Atualmente, processos de reciclagem para recuperação de metais, plástico, vidro, placas de circuito, entre outros (ver item 2.4.4) são desenvolvidos com sucesso e, podem ser utilizados nesse modelo, pois, a partir desses processos obtem-se nova matéria-prima que pode ser utilizada para o desenvolvimento de novos produtos.

Kuo (2012) apresenta um processo de reciclagem de WEEE em fim de vida (ver figura 8, no item 2.3.2 desta pesquisa). Neste processo é possível perceber que diferentes matérias-primas podem ser recuperadas e vendidas e, posteriormente, serem utilizadas no desenvolvimento de novos produtos.

Com o processo de reciclagem, obtém-se: uma nova *matéria-prima* e o que resta deste processo são as *escórias*, conforme descrito:

- a) *Matéria-prima* (figura 20 - detalhe “D.2.1.1”): é a resultante da reciclagem (conforme dados da Umicore, relatados no item 2.4.4) e é utilizada na produção de novas baterias no caso da reciclagem de baterias e, no caso da reciclagem de placas de circuito, os metais recuperados são destinados ao desenvolvimento de novas placas. Neste modelo a matéria-prima resultante da reciclagem também pode levar ao desenvolvimento de novos produtos (figura 20 – detalhe “D.1.1.2”), porém, o foco principal desse modelo é o desenvolvimento de produtos a partir de partes reutilizáveis e, por este motivo esta etapa não será desenvolvida neste modelo;
- b) *Escórias* (figura 20 - detalhe “D.2.1.2”): quando ocorre a reciclagem, parte do material transforma-se em matéria-prima e outra parte torna-se escória que pode ser utilizada como agregado para construção ou na pavimentação de estradas (figura 20 - detalhe “D.2.1.2.1”), de acordo com os processos descritos no item 2.4.4 dessa pesquisa.

3.2.5.2 Resíduos (figura 20 - detalhe “D.2.2”)

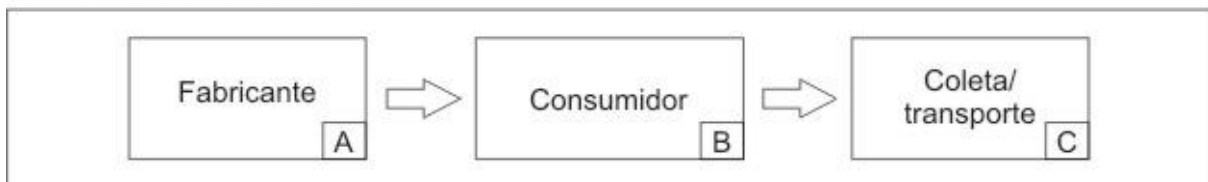
Depois de resgatadas as *partes reutilizáveis* e feita a *separação por categorias*, restam algumas partes que não possuem nenhum potencial de reaproveitamento, nem tão pouco de reciclagem, devido as suas características específicas e misturas de materiais incompatíveis entre si (categoria 7) e, por esse motivo, são enviadas para aterros ou para incineração (figura 20 – detalhe “D.2.2.1”).

4 APLICAÇÃO DA PROPOSTA DO MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS SUSTENTÁVEIS A PARTIR DO USO DO LIXO ELETRÔNICO POR MEIO DE ESTUDOS DE CASO

Conforme descrito no capítulo 3 desta pesquisa, o método proposto é dividido em duas etapas. A primeira etapa consiste do ciclo de vida dos EEE e tem como objetivo demonstrar quais são as etapas pela qual o produto passa desde a extração dos recursos para o seu desenvolvimento até o seu pós-descarte, conforme ilustrado na figura 21. Esta etapa é comum para todos os produtos.

Figura 21 – Detalhe da “Etapa 1 – Ciclo de vida dos EEE”

Etapa 1 - Ciclo de vida dos EEE



Fonte: O autor.

O método adota o uso do sistema EPR (ver item 2.5) que responsabiliza o fabricante pelo destino dos produtos em fim de vida. A adoção desse sistema ocorre na etapa de *coleta e transporte*. (figura 21 – detalhe “C”).

É importante ressaltar que a política EPR além de responsabilizar o fabricante pelo correto destino do equipamento em fim de vida, ainda estimula o produtor a estudar com cautela a concepção de um novo produto, isto porque, um produto desenvolvido de forma mais sustentável, prevendo a extensão da vida dos materiais e a facilitação da desmontagem, por exemplo, contribui para a facilitação do processo de fim de vida do produto. Ou seja, com a adoção desse sistema na etapa de *coleta e transporte*, outro benefício pode ser conquistado, que é o da conscientização do fabricante no desenvolvimento de produtos “mais limpos”, o que contribui para a redução dos impactos ambientais em todas as etapas do ciclo de vida do produto.

Para isso duas formas de *coleta e transporte* de responsabilidade do fabricante foram definidas:

- a) através de pontos de coleta instalados em revendedoras (no caso de produtos pequenos como aparelhos celulares, smartphones, notebooks, baterias, secadores de cabelo, escovas de dente elétricas, máquinas de barbear, massageadores.entre outros) – que consiste na instalação de depositores nos pontos de venda, onde o cliente possa depositar o produto em desuso para posteriormente ser recolhido e transportado pelo fabricante para que então possa se dar início ao processo de reaproveitamento do produto. Os locais onde essa entrega pode ser feita pelo cliente devem ser disponibilizados pelo fabricante em seu site na internet;
- b) através de um disque coleta para produtos que necessitam de transporte específico devido as suas dimensões elevadas (geladeiras, máquinas de lavar, freezers, fogões elétricos, aparelhos de ar condicionado, televisores, entre outros) – que consiste na disponibilização de telefones e/ou e-mail de contato através do site na internet, para que o cliente possa contactar a empresa para agendar a coleta do equipamento em desuso. Depois de coletado o produto no endereço indicado pelo cliente, o mesmo deve ser transportado pelo fabricante para que então, possa se iniciar o processo de reaproveitamento do produto.

Com os produtos em fim de vida coletados e transportados é possível se iniciar a segunda etapa do método que consiste do reaproveitamento do lixo eletrônico através do desenvolvimento de produtos sustentáveis a partir das partes reutilizáveis, conforme ilustrado na figura 22.

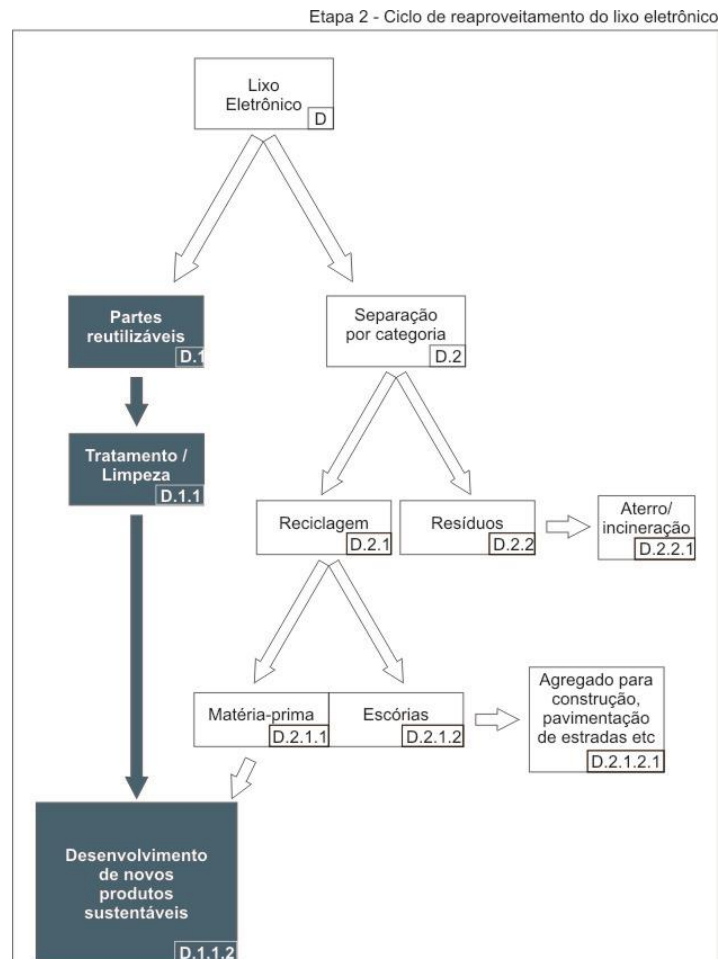
Lembrando que o método aborda a *reciclagem* como uma segunda opção que também pode levar ao desenvolvimento de novos produtos, com o objetivo de mostrar o ciclo completo de reaproveitamento do lixo eletrônico, porém, esta fase não será explorada nesta pesquisa.

Como o lixo eletrônico é muito complexo, devido à quantidade de produtos que o compõe e a variedade de materiais presentes nesses produtos, para se iniciar o processo de reaproveitamento, em cada estudo, será escolhida uma entre as 10 classificações de produtos definidas na Diretiva 2002/96 da União Européia, intitulada “Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)” e, dentro da classificação escolhida, será selecionado um produto para se iniciar o ciclo de

reaproveitamento (as classificações, bem como os produtos que fazem parte delas, encontram-se no quadro 5, do tópico 2.4.1 desta pesquisa).

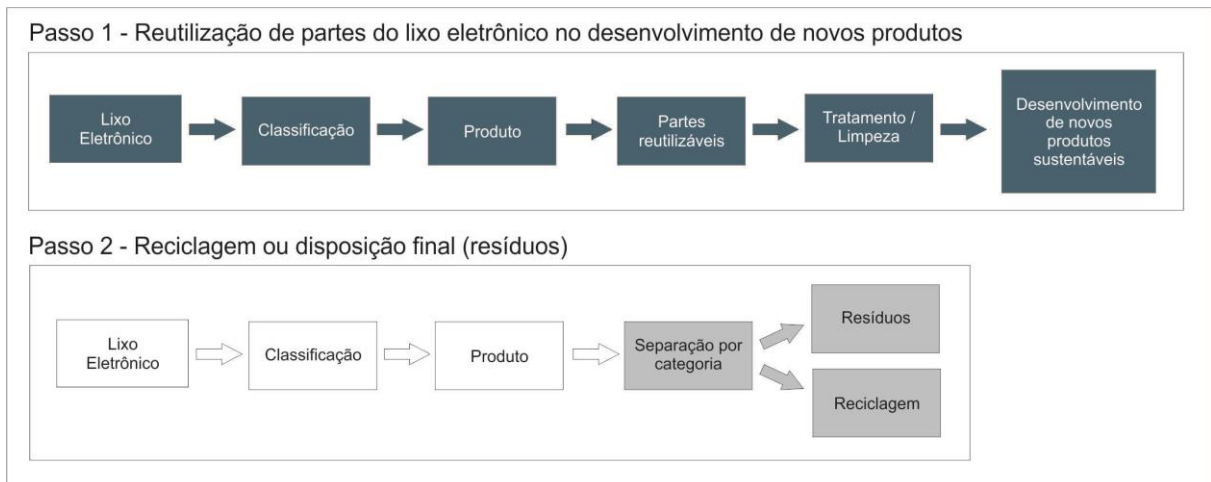
Diante disso, para o desenvolvimento dos estudos, o *ciclo de reaproveitamento do lixo eletrônico* (figura 22) será dividido em dois passos, para facilitar o entendimento de todo o processo. O *passo 1* consiste do processo que se inicia com a separação das *partes reutilizáveis* encontradas no lixo eletrônico e finaliza com o desenvolvimento de novos produtos sustentáveis. E, o *passo 2* consiste da *separação por categorias*, bem como da definição do que pode ser reciclado e o que deve ser encaminhado para disposição final, conforme ilustrado na figura 23.

Figura 22 – Detalhe da “Etapa 2 – Ciclo de reaproveitamento do lixo eletrônico”



Fonte: O autor.

Figura 23 – Passos do ciclo de reaproveitamento do lixo eletrônico para o desenvolvimento dos estudos



Fonte: O autor.

No “passo 1” - *Reutilização de partes do lixo eletrônico no desenvolvimento de novos produtos*, o processo ocorre da seguinte forma:

- a) **Lixo eletrônico:** é o lixo proveniente da *coleta/transporte* (ver figura 21);
- b) **Classificação:** o lixo eletrônico é dividido em 10 classificações pela Diretiva 2002/96 da União Europeia, intitulada “Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)”, são elas: 1) grandes eletrodomésticos; 2) pequenos eletrodomésticos, 3) equipamentos de informática e telecomunicações; 4) equipamentos de consumo; 5) equipamentos de iluminação; 6) ferramentas elétricas e eletrônicas (com exceção das grandes ferramentas industriais fixas); 7) brinquedos, lazer e equipamentos desportivos; 8) dispositivos médicos (com exceção de todos os produtos infectados); 9) instrumentos de monitoramento e controle; 10) máquinas automáticas de vendas. Para cada estudo, uma entre as dez classificações citadas acima, será escolhida;
- c) **Produto:** cada classificação é composta por uma variedade de produtos que podem ser vistos no quadro 5, do item 2.4.1 desta pesquisa. Para cada estudo será escolhido um produto dentro da classificação determinada no tópico anterior;
- d) **Partes reutilizáveis:** a partir do produto escolhido, serão identificadas as partes que o compõem e separadas as partes com potencial de reutilização para o desenvolvimento de um novo produto;

e) Tratamento / Limpeza: as partes separadas passarão por um processo de tratamento / limpeza antes de se iniciar o processo de reutilização. Essa limpeza pode acontecer de duas formas: i) para superfícies em plástico e vidro, a limpeza será feita com o uso de sabão em pedra dissolvido em água quente, com esponja não abrasiva. De acordo com Peruzzo e Canto (2000), o sabão em pedra artesanal é confeccionado a partir de matérias-primas renováveis (óleos e gorduras), compostos esses, biodegradáveis, diferente dos detergentes sintéticos que podem ou não ser biodegradáveis; ii) para superfícies em metal, a limpeza será feita com solução alcalina, com esponja não abrasiva. De acordo com Manzini e Vezzoli (2002), é preferível que a limpeza de componentes metálicos seja feita com este tipo de solução, pois, os fluorcarbonos alógenos, são nocivos à camada de ozônio. Se houver necessidade de tratamento de superfície (para o caso de corrosão, restos de tinta, danos ou defeitos, entre outros) deve ser feito o tratamento de abrasão manual ou mecânico dependendo da proporção do problema.

f) Desenvolvimento de novos produtos sustentáveis: com as partes reutilizáveis limpas é possível se iniciar o processo de desenvolvimento de novos produtos sustentáveis que deve ocorrer seguindo três etapas: *i) conceituação / estratégias DFE; ii) geração de ideias; e iii) desenvolvimento do protótipo* (a dinâmica deste processo é descrita no item 3.2.4 desta pesquisa). Essa fase foi desenvolvida pelo próprio autor.

No “passo 2”, os itens “lixo eletrônico”, “classificação” e “produto” aparecem apenas para facilitar o entendimento do processo que ocorre da seguinte forma:

a) Lixo eletrônico: é o lixo que restou do processo de separação das partes reutilizáveis;

b) Classificação: é a classificação adotada no passo 1;

c) Produto: é o que restou do produto escolhido no passo 1 depois de separadas as partes reutilizáveis;

d) Separação por categoria: as partes que restaram do produto depois de separadas as partes reutilizadas serão separadas em categorias de acordo com a classificação definida no tópico 3.2.5 dessa pesquisa, são elas: 1) ferro e aço (utilizado para carcaças e molduras); 2) metais não-ferrosos

(composto especialmente de cobre utilizado em cabos; e alumínio); 3) vidro (utilizado em telas); 4) plástico (utilizado como revestimento em cabos e para placas de circuito); 5) dispositivos eletrônicos (montados em placas de circuito); 6) outros (borracha, madeira, cerâmica etc); 7) baterias.

e) Reciclagem: todas as partes (separadas por categoria) que possuam características que permitam a reciclagem serão encaminhadas para este fim;

f) Resíduos: as partes separadas na categoria “7) outros” não possuem potencial de reciclagem e são destinadas à aterros ou incineração.

4.1 ESTUDO DE CASO 1 - MONITOR CRT

Antes de iniciar o primeiro estudo de aplicação do método proposto, é importante ressaltar que a “etapa 1 – ciclo de vida dos EEE” (ver tópico 4 – figura 21) é comum para todos os estudos, e por esse motivo sua descrição não será repetida a cada estudo, para não tornar a leitura cansativa.

O produto escolhido para o estudo 1 foi o monitor CRT (figura 24), isso porque, nos últimos anos, esses monitores vêm sendo substituídos pelos de tecnologia LCD e LED, o que tem ocasionado um grande descarte. De acordo com Gerbase e Oliveira (2012), os CRT's possuem compostos de chumbo, cádmio, estrôncio, bário, arsênio, antimônio e fósforo, materiais esses, que podem causar graves problemas ambientais se descartados de forma inadequada.

Figura 24 – Monitor CRT



Kasper *et. al.* (2009) caracterizaram as sucatas eletrônicas provenientes de monitores de tubos de raios catódicos a fim de verificar os materiais presentes em sua composição. Os componentes foram separados e classificados da seguinte forma: i) Carcaça externa polimérica; ii) placas de circuito impresso; iii) tubo de raios catódicos; e iv) fios/componentes menores. A tabela 5 mostra a massa (kg) do monitor completo e de seus principais componentes e a figura 25 contém as imagens de cada um desses componentes, sendo que o número “1” corresponde à carcaça externa polimérica, o número “2” corresponde as “placas de circuito impresso”, o número “3” corresponde aos “tubos de raios catódicos” e o número “4” corresponde aos fios/componentes menores.

Tabela 5 – Massa dos principais componentes do monitor CRT

Componente	Massa (Kg)	%
Monitor completo	12,00	100,00
Carcaça externa polimérica	2,40	20,00
Placas de circuito impresso	0,95	8,00
Tubos de raios catódicos	7,10	59,00
Fios/componentes menores	1,55	13,00

Fonte: Kasper *et. al.*, 2009.

Figura 25 – Componentes do monitor CRT



Fonte: o autor.

O ciclo de reaproveitamento é dividido em dois passos (figura 23). O “passo 1” consiste do ciclo de reaproveitamento através da reutilização de partes do lixo eletrônico (monitor CRT), conforme descrito abaixo:

- a) **Lixo eletrônico:** é o lixo proveniente da *coleta/transporte* conforme descrito no item 4;
- b) **Classificação:** 3 - equipamentos de informática e telecomunicações;
- c) **Produto:** Monitor CRT;

- d) Partes reutilizáveis:** Carcaça;
- e) Tratamento/ Limpeza:** limpeza realizada com o uso de sabão em pedra dissolvido em água quente, com esponja não abrasiva;
- f) Desenvolvimento de novos produtos sustentáveis:** esta fase é composta de três etapas: *i) Conceituação / estratégias DFE; ii) Geração de idéias; e iii) Desenvolvimento do protótipo*, de acordo com o que foi apresentado conceitualmente no item 3.2.4 desta pesquisa, conforme descrito abaixo:

i) Conceituação / estratégias DFE

As estratégias DFE (ver quadros 7 e 8) identificadas como prioritárias no desenvolvimento de “bens duráveis (multiuso) *que utilizam pouco ou nenhum recurso (energia e materiais) durante seu uso e manutenção*” (ver item 3.2.4.1), foram:

- a) Minimização dos recursos e escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental;
- b) Otimização da vida do produto;

As estratégias DFD (ver quadro 9) servem como auxiliares para contribuir com a estratégia de *otimização da vida do produto*, bem como para facilitar a reciclagem, remanufatura ou reutilização de partes do produto em seu fim de vida.

As recomendações atendidas pelo projeto nas estratégias DFE e DFD serão detalhadas mais adiante no quadro 10.

ii) Geração de ideias

Com as estratégias ambientais, que são os benefícios básicos definidos na etapa anterior, é possível iniciar o processo de geração de ideias. Considerando o dimensionamento de aproximadamente 350 x 340 x 350 mm (A x L x P) e o material do qual é composta a parte reutilizável (plástico ABS), para um monitor de 14 polegadas (essas dimensões podem variar dependendo da marca e modelo), algumas alternativas de produtos podem ser sugeridas, são elas:

- a) nichos organizadores (Ideia 1): para que a carcaça do monitor possa se tornar um nicho organizador é necessário a inclusão de acessórios para fixação do produto na parede e processo de pintura. A figura 26 mostra a ilustração do nicho organizador e a figura 27 mostra o produto inserido em um ambiente para que seja possível sua melhor visualização.

Figura 26 – Nicho organizador (ideia 1)



Fonte: o autor

Figura 27 – Nicho organizador inserido em um ambiente (ideia 1)



Fonte: o autor

- b) porta revistas (Ideia 2): para que a carcaça do monitor possa exercer essa nova função, alguns acessórios e processos são necessários: pés e elementos de fixação para fixar os pés à carcaça do monitor e processo de pintura. A figura 28 mostra a ilustração do porta revistas.

Figura 28 – Porta revistas (ideia 2)



Fonte – o autor

c) casinha para gato (Ideia 3): na internet é possível encontrar casinhas para gato desenvolvidas a partir de carcaças de monitores. Elas são encontradas nas mais variadas cores e modelos, o que já demonstra uma preocupação da sociedade em evitar que esse material seja descartado no meio ambiente. Para o desenvolvimento desse produto, é necessária a inserção de um travesseiro para que o animal possa se acomodar e, processo de pintura. A figura 29 mostra alguns exemplos de casinhas para gatos encontradas na internet.

Figura 29 – Casinha para gato (ideia 3)



Fonte: vilamulher.terra.com.br/casinhas-para-gato-que-tal-aproveitar-o-monitor-17-1-7886462-214.html

Para a seleção da melhor alternativa, deve-se optar por aquela que atenda de forma mais completa os requisitos ambientais definidos na fase anterior, além de se considerar as características estéticas que trarão maior diferencial e valor agregado ao produto.

Analisando-se as alternativas propostas, é possível perceber que a que menos necessita de recursos e processos para o seu desenvolvimento é a “ideia 1 – nicho organizador”, porém, esta não apresenta grande diferencial estético. Já a “ideia 2 – porta revistas”, apesar de necessitar de um acessório a mais para completar sua função, apresenta maior diferencial estético, fugindo do convencional, o que agrega maior valor ao produto. A “ideia 3 - casinha para gato” também necessita de poucos acessórios para sua concepção, porém, é um produto já existente e, por esse motivo, não será considerado na seleção das ideias.

Diante disso, a alternativa com maior potencial para o desenvolvimento do protótipo é a “ideia 2 – porta revistas”, já que alia os requisitos ambientais aos estéticos, gerando assim, um produto com maior valor agregado.

iii) Desenvolvimento do protótipo:

Uma vez que a “ideia 2” foi considerada com maior potencial para construção do protótipo, para iniciar esta etapa, o produto foi organizado por partes (componentes), onde foi definida a função de cada uma delas e, em seguida foram definidos os materiais e processos utilizados em cada componente conforme ilustrado na figura 30.

Figura 30 – Componentes do porta revistas



Fonte: o autor

A estrutura em ABS (figura 30 – detalhe “a”) recebeu pintura com tinta em pó curável por ultravioleta (UV), não volátil. Para fixar os pés à estrutura (figura 30 – detalhe “b”) foram utilizados parafusos de cabeça hexagonal em alumínio. Os pés são em alumínio reciclado (figura 30 – detalhe “c”) e, as sapatas (figura 30 – detalhe “d”) são em borracha natural, para evitar riscos no piso. Os pés foram fixados às sapatas através de encaixe.

Segundo Manzini e Vezzoli (2002) as tintas, são um problema devido às potenciais emissões de Compostos Orgânicos Voláteis (COV). Os autores ressaltam que o uso de tintas vegetais ou a base de água podem reduzir as emissões de COV. Por esse motivo, foi feita a escolha pela tinta em pó curável por UV que, de acordo com Laver, combina muitas das vantagens da tinta em pó convencional, além das vantagens da cura por ultravioleta. Com, isso o que se tem é um processo de pintura com baixo impacto ambiental, não volátil e que pode ser usado em substratos sensíveis à temperatura. Além disso, o autor destaca que a tinta em pó curável por UV pode ser usada em uma grande variedade de superfícies, como o MDF (Medium

Density Fibreboard), papel, papelão, plásticos, couro e madeira, além de objetos pré-montados contendo materiais sensíveis ao calor. (< [http:// www.atbcr.com.br/po_uv.htm](http://www.atbcr.com.br/po_uv.htm) > - acesso em 07 jun. 2013).

De acordo com Bennett (1992), a produção do alumínio tem alto custo econômico e ambiental, pois, sua obtenção é feita a partir da bauxita mineral, que normalmente é retirada de minas abertas em florestas tropicais. Nesse processo é utilizada muita energia e gerada grande poluição.

Por outro lado, o alumínio é um metal durável, que pode ser reciclado infinitas vezes, sem prejuízo de suas características durante esse processo. Ele pode ser reciclado tanto a partir de sucatas geradas por produtos de vida útil esgotada, como de sobras do processo produtivo. Alguns exemplos são: os utensílios domésticos, as latas de bebidas, as esquadrias de janelas, os componentes automotivos, entre outros. Estes materiais podem ser fundidos e empregados novamente na fabricação de novos produtos. No processo de reciclagem do alumínio há uma economia de recursos naturais, já que, nele são consumidos apenas 5% da energia necessária para produção do alumínio primário e, além disso, oferece ganhos sociais e econômicos (ABAL – Associação Brasileira do Alumínio – <<http://www.abal.org.br/aluminio>> - acesso em: 5 jun. 2013).

O produto com maior destaque na reciclagem é a lata de alumínio, isso porque, tem alto consumo e um ciclo de vida muito inferior ao de outros produtos de alumínio. Em 2011, o Brasil obteve o índice de 98,3% de reciclagem de latas de alumínio. Ao todo, foram 248,7 mil toneladas de sucata de latas recicladas. Neste mesmo ano, somente a etapa de coleta (compra de latas usadas) injetou cerca de R\$ 645 milhões na economia nacional, o equivalente à geração de emprego e renda para milhares de pessoas (ABAL – Associação Brasileira do Alumínio – <<http://www.abal.org.br/aluminio>> - acesso em: 5 jun. 2013).

Com relação às características estéticas do porta revistas, o desenho foi baseado no estilo *retrô*, que inspira-se nas características formais dos estilos passados, mas, que utiliza os processos de fabricação atuais. O estilo retrô vem sendo explorado por empresas como Brastemp e LG, por exemplo, a exemplo da linha “Brastemp Retrô”, composta por frigobar, fogão e geladeira e “TV Retrô” da LG (<<http://www.brastemp.com.br/Home/Geladeiras/GeladeiraBrastempRetroFrostFree>

352litrosBRT38>; <<http://www.lge.com/br/tvs-telas-planas/lg-14SR1ªB>> - acesso em 5 jun. 2013).

Com base nas definições descritas ao longo do processo de desenvolvimento, a proposta final do porta revistas, inserido em um ambiente, é ilustrada na figura 31.

Figura 31 – Proposta final – porta revistas



Fonte: o autor

Em uma pesquisa rápida em lojas virtuais, foi constatado que o valor médio de um porta revistas semelhante (dimensões e materiais) ao modelo proposto nesse estudo, fica entre R\$ 150,00 e R\$ 250,00. Esses preços podem variar e chegar até R\$ 1.000,00 ou mais dependendo da marca ou do designer que o desenhou. Com base nisso, o preço sugerido para o porta revistas é de R\$ 120,00.

Com relação aos requisitos ambientais, o projeto atende a diversas recomendações das estratégias definidas no projeto conceitual, que são:

minimização dos recursos e escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental e otimização da vida do produto.

As recomendações atendidas, bem como as práticas adotadas para atendê-las, nas estratégias “*minimização dos recursos e escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental*” e “*otimização da vida dos produtos*” (ver quadros 7 e 8), além das estratégias DFD (ver quadro 9), que são auxiliares no desenvolvimento de produtos mais sustentáveis, são descritas no quadro 10.

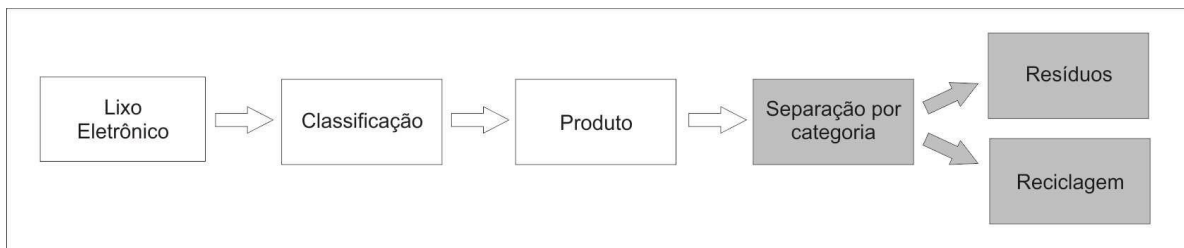
Quadro 10 – Recomendações atendidas e práticas adotadas nas estratégias ambientais - Porta Revistas

Estratégia	Recomendações	Práticas adotadas
Minimização dos recursos e escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental (DFE)	Minimizar o consumo de energia na produção	<ul style="list-style-type: none"> • Escolher os processos produtivos com menor consumo energético.
	Minimizar o consumo de recursos no desenvolvimento de produtos	<ul style="list-style-type: none"> • Usar instrumentos de informática para o projeto, modelagem e prototipagem.
	Escolher materiais e processos de baixo impacto	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar o uso de materiais tóxicos e perigosos no produto. • Evitar acabamentos tóxicos e danosos. • Evitar o uso de materiais que estão para se exaurir. • Usar materiais provenientes de refugos de processos produtivos. • Usar componentes provenientes de produtos já eliminados. • Usar materiais reciclados, em separado ou junto com outros materiais virgens.
Otimização da vida dos produtos (DFE)	Projetar a segurança	<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar o número de partes e componentes. • Simplificar o produto. • Evitar a junções frágeis.
	Facilitar a manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Projetar visando à facilidade de manutenção no próprio local de uso.
	Facilitar a reutilização	<ul style="list-style-type: none"> • Predispor o acesso para facilitar a remoção das partes e componentes que podem ser reutilizados.
Facilitação da desmontagem (DFD)	Usar sistemas de junção removíveis	<ul style="list-style-type: none"> • Usar parafusos de cabeças hexagonais.

Fonte: Manzini e Vezzoli (2002)

Concluído o “passo 1” do ciclo de reaproveitamento do lixo eletrônico, inicia-se o “passo 2” que tem como objetivo a reciclagem ou a disposição final das partes que restaram do processo de separação depois de escolhida a parte reutilizável (carcaça do monitor CRT). Conforme ilustrado na figura 32. Como já mencionado anteriormente, a reciclagem não é o foco principal dessa pesquisa e, sim, a reutilização, porém, um ciclo completo de reaproveitamento, deve contemplar todas as etapas que levam ao máximo reaproveitamento possível do lixo eletrônico. Por esse motivo, será descrito nesse passo, apenas o que deve ser enviado para a disposição final, bem como o que pode ser destinado à reciclagem, sem explorar a fundo que tipos de processos de reciclagem podem ser utilizados, bem como que produtos podem ser desenvolvidos a partir das partes recicladas.

Figura 32 – Passo 2 – Reciclagem ou disposição final



Fonte: o autor

Os itens “lixo eletrônico”, “classificação” e “produto” aparecem apenas para facilitar o entendimento do processo. Desta forma, o “passo 2” tem início com o item “separação por categorias”, que ocorre da seguinte forma: as partes que restaram do produto (ver figura 25 – detalhes “2, 3 e 4”) depois de separada a parte reutilizável que resultou no porta revistas, foram separadas em categorias de acordo com a classificação definida no tópico 3.2.5 dessa pesquisa, que são: placas de circuito impresso – categoria 5; tubos de raios catódicos – categoria 3; fios/componentes menores – categoria 1, 2, 4 e 6). Depois de separadas por categorias, as partes restantes tiveram os seguintes destinos:

- a) Resíduos:** uma pequena parte dos fios/componentes menores que corresponde a 13% da massa dos principais componentes do monitor CRT, como pequenas peças que possuem plástico e metal misturados, por exemplo, são encaminhadas para a disposição final por não apresentarem

nenhum potencial de reciclagem, devido ao fato de não haver tecnologias de reciclagem para tal, e encaixam-se na categoria “6-outros”.

b) Reciclagem: as partes encaminhadas para a reciclagem são as placas de circuito impresso, os tubos de raios catódicos e parte dos fios /componentes menores.

De acordo com Kasper *et. al.* (2009) as placas de circuito impresso correspondem a 8% da massa dos principais componentes do monitor CRT (ver quadro 14) e, como já mencionado no item 2.4.4 dessa pesquisa, já existem processos de reciclagem altamente eficazes para recuperação de metais dessas placas e, que aproveitam os resíduos restantes desse processo para uso em pavimentação de estradas.

Já os tubos de raios catódicos representam quase 60% da massa total do monitor CRT, sendo que 90% do seu peso é constituído por vidro. De acordo com Menad (1999), cada monitor de CRT e TV contém entre 0,6 Kg e 1,0 kg de chumbo, sob a forma de óxido de chumbo. Este composto é usado como blindagem de radiação e como estabilizador para o vidro. Muitos outros metais estão presentes no tubo, são eles: SiO₂, Na₂O, K₂O e PbO como principais compostos, e SrO, BaO, Al₂O₃, CaO em quantidades menores. E, de acordo com Kasper *et. al.* (2009), traços de outros compostos estão presentes no tubo, como: ZrO₂, Y₂O₃, Co₃O₄ e TiO₂. Os processos de reciclagem de CRT podem ser vistos no item 2.4.4 dessa pesquisa.

Nos *fios /componentes menores* que correspondem a 13% da massa dos principais componentes do monitor CRT, estão presentes ligas de ferro (categoria 1), cobre (categoria 2) e plástico PS (poliestireno) - (categoria 4). Tanto os metais ferrosos, quanto os não ferrosos possuem potencial para reciclagem, conforme descrito no item 2.4.4, e o plástico PS é um termoplástico e, de acordo com Manzini e Vezzoli (2002), esse tipo de material é reciclável termicamente, porém, as características do material reciclado são inferiores às do material virgem, o que também tem relação com a pureza do material que será reciclado.

Finalizados os “passos 1 e 2” é possível perceber que aplicação do método de desenvolvimento de produtos sustentáveis a partir do uso do lixo eletrônico, no caso do monitor CRT, possibilitou uma redução de 20% dos resíduos gerados, apenas com o uso da carcaça no desenvolvimento de um novo produto.

As placas de circuito impresso representam 8% da massa do computador, os tubos de raios catódicos representam 60% e os *firos / componentes* menores representam 13%, sendo que apenas uma porcentagem dos *firos /componentes* menores é encaminhada diretamente para a disposição final, por não possuir nenhum potencial de reciclagem ou por não haver tecnologias de reciclagem eficientes para tal.

4.2 ESTUDO DE CASO 2 - MÁQUINA DE LAVAR ROUPAS

O produto escolhido para o estudo 2 foi a máquina de lavar roupas (figura 33), que de acordo com Manzini e Vezzoli (2002) tem um tempo de vida útil entre 5 e 10 anos (produtos da classificação “grandes eletrodomésticos”).

Para a realização desse estudo foi feita uma pesquisa de campo em uma oficina de conserto de “grandes eletrodomésticos”, onde o técnico responsável desmontou uma máquina de lavar roupas de 10 kg e, identificou cada parte, bem como os materiais que as compõe e, além disso, foi realizada a pesagem de cada componente, sendo que a massa total da máquina ficou em 35,5 kg (essa massa pode variar dependendo da marca e modelo). A figura 34 mostra os componentes da máquina de lavar e o quadro 11 mostra os materiais presentes nos componentes (de acordo com numeração indicada na figura 34), bem como a massa média de cada componente (os componentes e a massa dos mesmos podem variar dependendo do modelo da máquina).

Figura 33 – Máquina de lavar roupas



Figura 34 - Componentes da máquina de lavar roupas



Fonte: o autor.

Quadro 11 – Materiais presentes nos componentes da máquina de lavar

Numeração	Componente	Materiais	Massa
1	Gabinete e tampas fixa e móvel	<ul style="list-style-type: none"> • Latão • Plástico • Vidro 	14 kg
2	Cesto	<ul style="list-style-type: none"> • Plástico • Antimônio 	2,5 kg (230 g de antimônio)
3	Batedor	<ul style="list-style-type: none"> • Plástico 	1,2 g

Numeração	Componente	Materiais	Massa
	Painel de controle (componentes internos)	<ul style="list-style-type: none"> • Chaves de controle (plástico e metal) • Placas de circuito • Chave CSI (plástico e placa de circuito) • Timer (plástico e placa de circuito) • Fios (cobre e plástico) 	2,2 kg
5	Motor e base inferior	<ul style="list-style-type: none"> • Alumínio • Ferro • Antimônio • Cobre 	5,1 kg
6	Bomba d'água	<ul style="list-style-type: none"> • Plástico (PVC) • Cobre • Ferro 	2,5 kg
7	Base superior	<ul style="list-style-type: none"> • Aço 	2,3 kg
8	Tanque	<ul style="list-style-type: none"> • Plástico 	2,3 kg
9	Cabo de força	<ul style="list-style-type: none"> • Cobre • Plástico 	200 g
10	Mangueiras	<ul style="list-style-type: none"> • Plástico 	300 g
11	Embreagem	<ul style="list-style-type: none"> • Aço • Plástico 	250 g
12	Transmissão (Caixa de engrenagem)	<ul style="list-style-type: none"> • Aço • Alumínio • Latão 	1,8 kg

Fonte: o autor.

A soma da massa dos 12 componentes listados no quadro 18 totalizou 34,65 kg, faltando apenas 850 g, para fechar a massa total da máquina de lavar roupas. Esses 850 g correspondem aos acessórios para fixação (parafusos, rebites, arruelas, etc) e outros componentes menores.

Com base nesses dados, é possível dar início ao “passo 1” do ciclo de reaproveitamento (ver figura 23) que, segue a seguinte sequência:

- a) **Lixo eletrônico:** é o lixo proveniente da *coleta/transporte* conforme descrito no item 4;
- b) **Classificação:** 1 – grandes eletrodomésticos
- c) **Produto:** Máquina de lavar roupas;
- d) **Partes reutilizáveis:** Gabinete e tampas fixa e móvel, cesto e batedor (figura 35);

Figura 35 – Partes reutilizáveis – máquina de lavar roupas



e) Tratamento/ Limpeza: limpeza do cesto, batedor e gabinete realizada com o uso de sabão em pedra dissolvido em água quente, com esponja não abrasiva; no gabinete também foi utilizada solução alcalina e esponja não abrasiva para uma limpeza mais eficaz;

f) Desenvolvimento de novos produtos sustentáveis: esta fase é composta de três etapas: i) Conceituação / estratégias DFE; ii) Geração de idéias; e iii) Desenvolvimento do protótipo (ver item 3.2.4), conforme descrito a seguir:

i) Conceituação / estratégias DFE

As estratégias DFE definidas para o desenvolvimento de produtos do tipo “bens duráveis (multiuso) *que utilizam pouco ou nenhum recurso (energia e materiais) durante seu uso e manutenção*” (ver item 3.2.4.1) foram:

- a) Minimização dos recursos e escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental
- b) Otimização da vida do produto

As estratégias DFD (ver quadro 9) servem como auxiliares para o desenvolvimento de um produto mais sustentável, já que visam otimizar o processo de fim de vida do produto, através da facilitação da separação das peças para a reciclagem.

As recomendações atendidas pelo projeto nas estratégias DFE e DFD serão detalhadas mais adiante, nos quadros 12, 13 e 14.

ii) Geração de ideias

Nesse estudo, três partes reutilizáveis estão sendo reaproveitadas para o desenvolvimento de novos produtos, que são o gabinete e tampas fixa e móvel, o cesto e o batedor. O gabinete e as tampas fixa e móvel medem aproximadamente 870 x 580 x 580 mm (A x L x P) e são compostos de latão, plástico e vidro respectivamente; o cesto mede aproximadamente 460 x 400 mm (D x A) e é composto de plástico (pode ser composto também de latão ou aço inox dependendo do modelo); e o batedor mede aproximadamente 370 x 450 mm (D x A), essa medida corresponde ao diâmetro da base pela altura. Com relação ao diâmetro do topo do batedor, fica em aproximadamente 100 mm e, é composto de plástico. Essas medidas correspondem aos componentes de uma máquina de lavar com capacidade para 10 kg de roupas – essas dimensões podem variar dependendo do modelo ou capacidade da máquina). Considerando esses dimensionamentos e materiais, algumas alternativas de produtos podem ser sugeridas, conforme ilustrado a seguir:

- a) Lixeira para condomínio (Ideia 1): para que o gabinete e as tampas fixa e móvel da máquina de lavar possam exercer essa nova função é necessário que passem por um processo de pintura (pintura especial no caso de se desenvolver a lixeira também para lixo orgânico) e que seja inserida uma chapa na parte inferior do gabinete, já que esta é aberta e, além disso, uma adaptação com dobradiças e fechadura na parte traseira para que o lixo possa ser retirado. Essa lixeira também pode ser utilizada em locais públicos onde há grande fluxo de pessoas e conseqüentemente, grande descarte de resíduo;
- b) Coletor de lixo eletrônico (Ideia 2): Para o desenvolvimento do coletor de lixo eletrônico é usado o mesmo princípio do da lixeira, com o benefício de não necessitar de pintura especial, já que, essa só receberá resíduos secos.

A figura 36 mostra a ilustração da lixeira para condomínio e do coletor de lixo eletrônico, desenvolvidos a partir do gabinete e tampas fixa e móvel da máquina de lavar roupas;

Figura 36 – Lixeira para condomínio e coletor de lixo eletrônico (Ideias 1 e 2)



(Ideia 1) Lixeira para condomínio

(Ideia 2) Coletor de lixo eletrônico

Fonte: o autor

- c) Vaso de plantas (Ideia 3): Para que o cesto da máquina de lavar possa exercer a função de um vaso de plantas é necessária à inserção de rodízios e acessórios para fixação dos mesmos;
- d) Cama para cachorro ou gato (Ideia 4): Para o desenvolvimento desse produto é necessária à inserção de pezinhos, acessórios para fixação dos mesmos, estofamento em espuma, revestimento em tecido e, o cesto precisa passar por um processo de recorte;
- e) Móvel multifuncional (Ideia 5): Para o desenvolvimento do móvel multifuncional (mesa, puff e baú) a partir do cesto da máquina de lavar, é necessária a inserção de rodízios, assento estofado e revestimento para o assento. O produto pode ser usado como mesa ou puff, além de ser um baú para guardar objetos.

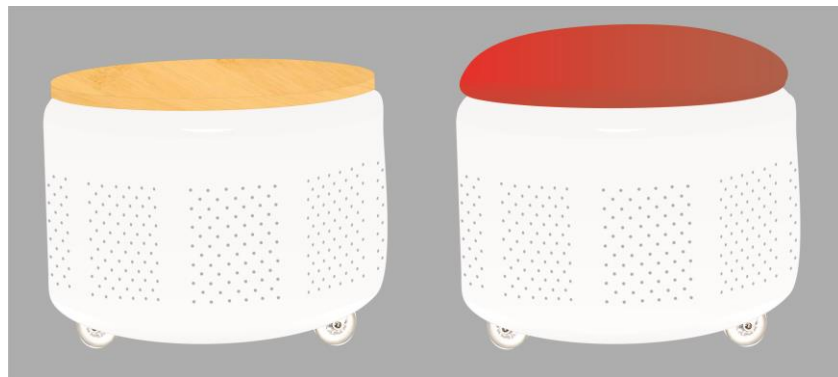
A figura 37 mostra a ilustração do vaso de plantas, da cama para cachorro ou gato e do móvel multifuncional a partir do cesto da máquina de lavar.

Figura 37 – Vaso de plantas, cama para cachorro ou gato e móvel multifuncional (Ideias 3, 4 e 5)



(Ideia 3) Vaso de plantas

(Ideia 4) Cama para cachorro ou gato



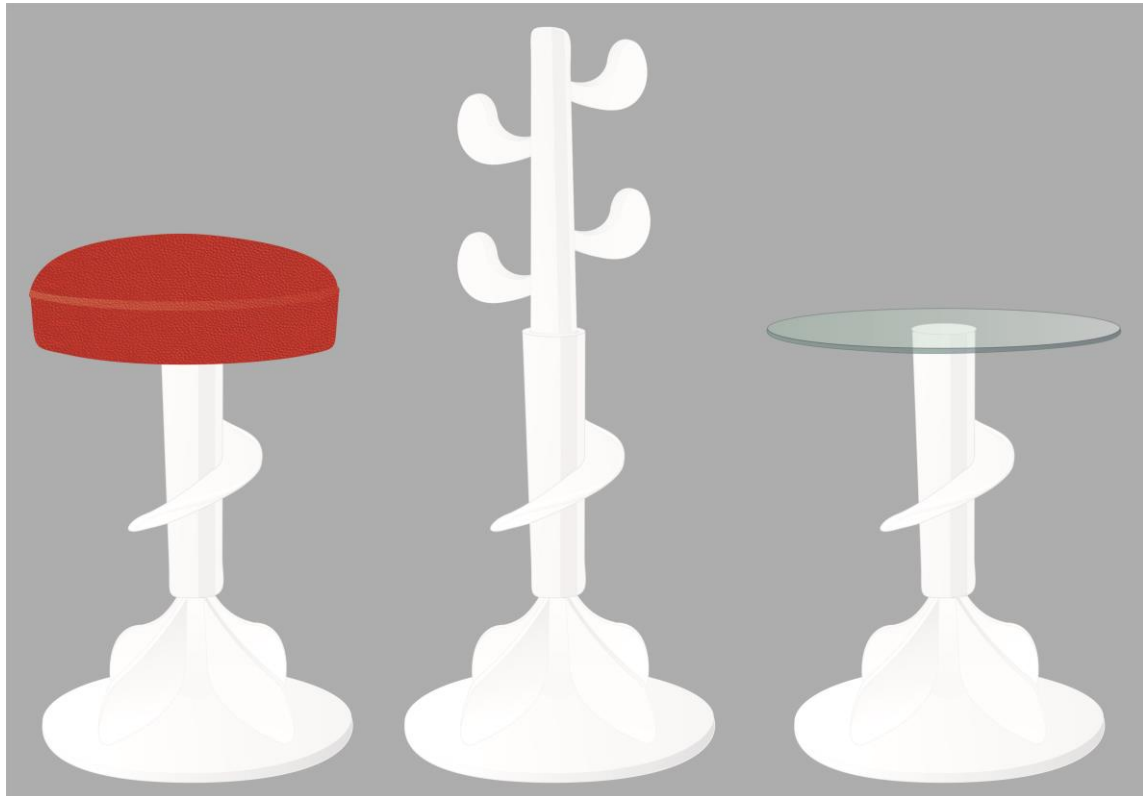
(Ideia 5) Móvel multifuncional -mesinha, puff e baú

Fonte: o autor.

- f) Banqueta (Ideia 6): Para o desenvolvimento desse produto é necessária a inserção de um assento estofado, revestimento e acessórios para fixação;
- g) Cabideiro (Ideia 7): Para que o batedor da máquina de lavar possa exercer essa nova função é necessário o desenvolvimento de uma peça com as dimensões planejadas para o perfeito encaixe no batedor;
- h) Mesinha de canto (Ideia 8): Para o desenvolvimento desse produto é necessária a inserção de uma chapa de vidro e acessórios para fixação.

A figura 38 mostra a ilustração da banquetta, do cabideiro e da mesinha de canto desenvolvidos a partir do batedor da máquina de lavar.

Figura 38 – Banqueta, Cabideiro e Mesinha de canto (Ideias 6, 7 e 8)



(Ideia 6) Banqueta

(Ideia 7) Cabideiro

(Ideia 8) Mesinha de canto

Fonte: o autor.

Analisando as alternativas apresentadas é possível perceber que as ideias 1 e 2, desenvolvidas a partir do gabinete e da tampa fixa e móvel da máquina de lavar (figura 36), utilizam o mesmo princípio para o seu desenvolvimento, sendo que o coletor de lixo eletrônico tem o benefício de não necessitar de pintura especial, pois, só receberá resíduos secos, porém, analisando-se as possíveis falhas do projeto, constatou-se que os produtos eletrônicos ao serem jogados no coletor podem se quebrar devido a profundidade do mesmo, fato que dificultará o posterior reaproveitamento de suas partes no desenvolvimento de novos produtos.

Com relação às ideias 3, 4 e 5, desenvolvidas a partir do cesto da máquina de lavar, observa-se que a alternativa que menos necessita de acessórios e processos para desenvolver a nova função é a “ideia 3 – vaso para plantas”, já a “ideia 4 – cama para cachorro ou gato” necessita de alguns acessórios e processos e, o maior problema desse produto seria o recorte feito no cesto para a abertura de passagem do animal de estimação, que removeria e inutilizaria uma parte do cesto, fato que diminui o potencial de reaproveitamento, já que um dos requisitos do modelo é que

se consiga o máximo reaproveitamento possível das partes. E, a “ideia 5 – móvel multifuncional” necessita de alguns acessórios a mais que o vaso de plantas para completar sua função, porém, por ser um móvel multifuncional terá sua função melhor aproveitada pelo usuário, por poder ser usado tanto como mesa, quanto como objeto para sentar, além da função de armazenar objetos. Manzini e Vezzoli (2002) apontam a multifuncionalidade como um dos requisitos que contribuem para a *otimização da vida dos produtos*.

Com relação às alternativas 6, 7 e 8, desenvolvidas a partir do batedor da máquina de lavar, pode-se observar que a alternativa que menos necessita de acessórios para completar a função é a “ideia 8 - mesinha de canto”, pois só precisaria de uma chapa de vidro recortada em forma de círculo e de acessórios para fixação. Já, a “ideia 6 – banqueta” necessita de um estofamento e revestimento para o assento, bem como, acessórios para fixação. E, por fim a “ideia 7 – cabideiro” precisaria de mais uma peça para completar sua função, já que o batedor seria apenas a base do produto, sendo que, a peça que realmente exerceria a nova função, teria que passar por um processo de moldagem por injeção, fato que, traria novos impactos ao meio ambiente, além de encarecer significativamente o produto.

Diante disso e, considerando que se deve optar pela alternativa que atende tanto os requisitos ambientais definidos na etapa de conceituação, quanto os estéticos, as alternativas com maior potencial para o desenvolvimento do protótipo a partir do uso do gabinete e das tampas fixa e móvel, do cesto e do batedor da máquina de lavar respectivamente são: a “ideia 1 – lixeira para condomínio”, a “ideia 5 - móvel multifuncional” e, a “ideia 8 - mesinha de canto”, pois, essas propostas conseguem atender de forma mais completa os requisitos ambientais e estéticos, aliados à nova função.

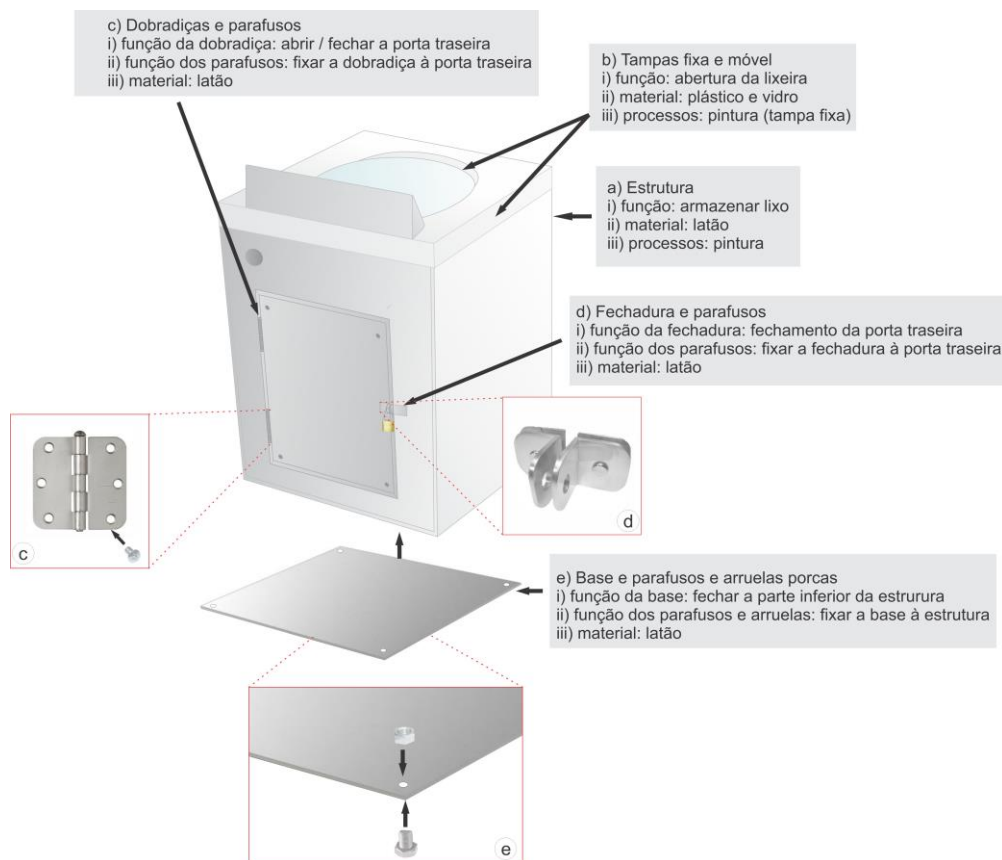
iii) Desenvolvimento do protótipo

Como nesse estudo não será desenvolvido apenas um protótipo e, sim três, já que esse foi o número de partes identificadas com potencial de reutilização, o desenvolvimento dos protótipos acontecerá na seguinte ordem: 1 – lixeira para condomínio; 2 – móvel multifuncional; 3 – mesinha de canto. Conforme descrito a seguir:

a) Protótipo 1 – Lixeira para condomínio (ideia 1)

A “ideia 1” foi a que demonstrou maior potencial para construção do protótipo, dentre as alternativas geradas a partir do gabinete e das tampas fixa e móvel da máquina de lavar. Diante disso, para se iniciar o desenvolvimento do protótipo, o produto foi organizado por partes (componentes), onde foi definida a função de cada uma delas e, em seguida foram definidos os materiais e processos utilizados em cada componente conforme ilustrado na figura 39.

Figura 39 – Componentes da lixeira para condomínio



Fonte: o autor

A estrutura em latão e a tampa fixa (figura 39 – detalhes “a - b”) receberam pintura com tinta em pó a base de resina poliéster, já a tampa móvel (figura 39 – detalhe “b”) só recebeu a pintura na parte em plástico. A “tampa” traseira da máquina de lavar foi desparafusada e, então foram colocadas duas dobradiças fixadas com parafusos (Figura 39 – detalhe “c”) com o objetivo de tornar móvel, a “tampa” traseira, para que ela possa ser aberta sempre que houver necessidade de esvaziar a lixeira, além disso, foi inserida uma fechadura, fixada com rebites (figura

39 – detalhe “d”). Na parte inferior da máquina de lavar foi inserida uma chapa, com parafusos de cabeça hexagonal e arruelas porcas para fixação (figura 39 – detalhe “e”), já que esta parte era aberta na máquina de lavar. Todos os acessórios inseridos (dobradiça, fechadura, chapa, parafusos e arruelas porcas) são em latão.

A tinta em pó a base de resina poliéster é indicada para uso em superfícies que ficarão expostas aos raios solares e intempéries. A tinta em pó não contém solventes, possui alta resistência química, além de ser um composto de baixo impacto ambiental (em comparação com as tintas a base de solventes). <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Tintas-e-Vernizes/Tintas-em-Po/Poliester.>> Acesso em: 18 jun, 2013.

Os acessórios inseridos no produto são em latão, o mesmo material que compõe o gabinete da máquina de lavar. De acordo com Manzini e Vezzoli (2002), deve-se evitar o uso de materiais incompatíveis entre si e, pensando em longo prazo, no momento do descarte, essa unidade de materiais facilita significativamente o processo de reciclagem.

Com base no que foi exposto, a proposta final da lixeira para condomínio é ilustrada na figura 40.

Figura 40 – Proposta final – Lixeira para condomínio



Fonte: o autor.

Em uma pesquisa em sites especializados em artigos para condomínio, o preço médio encontrado para lixeiras com dimensões e materiais similares (com divisória para lixo comum e reciclável), fica entre R\$580,00 e R\$700,00 para os modelos mais simples. Diante disso, a lixeira para condomínio desenvolvida a partir do gabinete e das tampas fixa e móvel da máquina de lavar, pode ser vendida por R\$ 220,00 (cada peça), pois, a lixeira em estudo, é diferente das lixeiras encontradas no mercado, já que estas, são “dois em um”, ou seja, têm espaço para lixo comum e reciclável no mesmo container.

Com relação aos requisitos ambientais, as recomendações DFE e DFD atendidas (ver quadros 7, 8, e 9), bem como as práticas adotadas para este fim, dentro das estratégias definidas para esse tipo de produto, são apresentadas no quadro 12.

Quadro 12 – Recomendações atendidas e práticas adotadas nas estratégias ambientais - Lixeira para condomínio

Estratégia	Recomendações	Práticas adotadas
Minimização dos recursos e escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental	Minimizar o consumo de recursos no desenvolvimento de produtos	<ul style="list-style-type: none"> • Usar instrumentos de informática para o projeto, modelagem e prototipagem.
	Minimizar o consumo de recursos durante o uso	<ul style="list-style-type: none"> • Projetar produtos de uso coletivo.
	Escolher materiais e processos de baixo impacto	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar o uso de materiais tóxicos e perigosos no produto. • Evitar acabamentos tóxicos e danosos. • Evitar o uso de materiais que estão para se exaurir. • Usar componentes provenientes de produtos já eliminados.
Otimização da vida dos produtos (DFE)	Projetar a duração adequada	<ul style="list-style-type: none"> • Projetar vidas iguais para os vários componentes.
	Projetar a segurança	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar as junções frágeis.
	Facilitar a manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitar a substituição das partes que necessitam de manutenção, simplificando o acesso e remoção. • Projetar para a manutenção ser fácil no próprio local de uso.
	Facilitar a remodelação	<ul style="list-style-type: none"> • Projetar procurando facilitar a remoção e a substituição das partes mais facilmente avariadas.
Facilitação da desmontagem (DFD)	Minimizar e facilitar as operações para a desmontagem e separação	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar partes assimétricas desnecessárias.

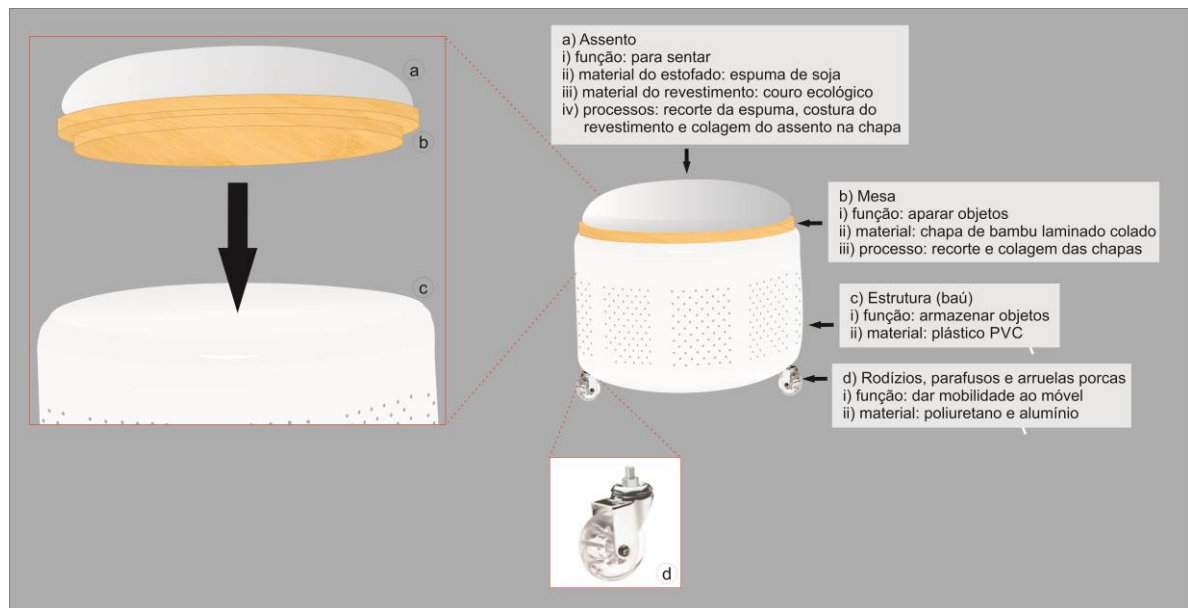
Estratégia	Recomendações	Práticas adotadas
	Usar sistemas de junção removíveis	<ul style="list-style-type: none"> • Usar parafusos de cabeças hexagonais. • Usar parafusos compatíveis com os materiais afixados, para não ser necessária a sua extração, quando em caso de reciclagem do material.

Fonte: Manzini e Vezzoli (2002)

b) Protótipo 2 – Móvel multifuncional (ideia 5)

A alternativa de produto proveniente do cesto da máquina de lavar que demonstrou maior potencial para o desenvolvimento de protótipo foi o “móvel multifuncional - ideia 5”. Diante disso, o processo de desenvolvimento do protótipo se deu através da organização do produto por partes (componentes), onde foi definida a função de cada uma delas, bem como os materiais e processos a serem utilizados em cada componente conforme ilustrado na figura 41.

Figura 41 – Componentes móvel multifuncional



Fonte: o autor

O assento (figura 41 – detalhe “a”) foi confeccionado com espuma de soja e revestido com couro ecológico. A mesa (figura 41 – detalhe “b”) foi confeccionada com duas chapas de bambu laminado colado (BLC), cortadas em formato circular, sobrepostas e unidas através de colagem com cola para madeira atóxica a base de água. A estrutura (figura 41 – detalhe “c”) não recebeu nenhum tipo de pintura ou

tratamento de superfície. Foram inseridos rodízios (figura 41 – detalhe “d”), fixados com parafusos, para dar mobilidade ao produto.

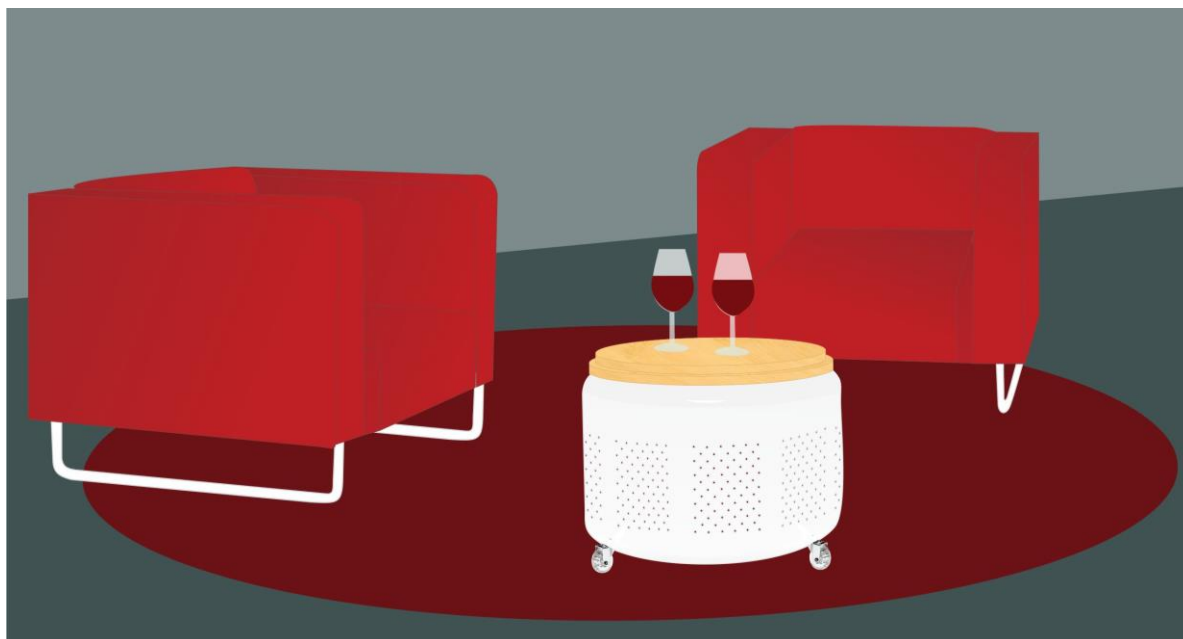
De acordo com Menger, Veronese e Petzhold (2008), em um estudo para síntese de poliuretanos a partir de óleos vegetais modificados, foi concluído que os resultados obtidos com o óleo de soja modificado, foram satisfatórios, já que os polióis desenvolvidos a partir desse composto, apresentaram grande potencial de substituição dos polióis sintéticos provenientes do petróleo, já que a espuma desenvolvida apresentou propriedades mecânicas equivalentes às mais comumente comercializadas. De acordo com dados da Revista Meio Ambiente Industrial (2011) a espuma de soja é 24% mais renovável que a espuma derivada do petróleo e, além disso, este material reduz em 67% as emissões de compostos orgânicos voláteis. (<<http://rmai.com.br/v4/Read/935/ford-amplia-o-uso-de-materiais-naturais-nos-seus-veiculos.aspx>> - acesso em 18 jun. 2013).

De acordo com Polucha, Watanabe e Fernandes (2006), a chapa de bambu laminado apresenta-se como um material resistente, porém, fácil de ser trabalhado com maquinário de marcenaria, além de permitir o uso de diversos acessórios de fixação (cavilhas, parafusos, dobradiças, entre outros).

Segundo Paes *et. al.* (2009) o bambu apresenta boas características físico-mecânicas, baixo custo, facilidade de obtenção e trabalhabilidade e, por este motivo, vem sendo largamente utilizado, como material de construção em países asiáticos, e em alguns países da América Latina, como substituto para algumas espécies de madeira. De acordo com Pereira (2007), o uso do bambu apresenta diversas vantagens em comparação com a madeira, como por exemplo, o baixo custo, a leveza, a facilidade de curvatura, a resistência à tração, a resistência à compressão, além de apresentar excelentes resultados na fabricação de móveis, tubulações, drenos, entre outros.

Com base nos dados acima relatados e, considerando o valor simbólico do produto, que está diretamente ligado às características estéticas do mesmo, a proposta final do móvel multifuncional, inserido em um ambiente, é ilustrada na figura 42.

Figura 42 – Proposta final – Móvel multifuncional



Fonte: o autor.

O produto desenvolvido apresentou um resultado funcional e estético bastante atrativo, já que alia três funções em um único produto, além de possuir um *design* lúdico que desperta a curiosidade.

Em uma pesquisa em lojas físicas e virtuais de móveis, buscou-se encontrar produtos similares ao apresentado, porém, só o que se encontra são produtos com dimensões similares, mas, com as funções isoladas. Diante disso, a definição do valor do produto, foi baseada nos preços dos puff/baú com dimensões aproximadas às do móvel multifuncional. Os preços variam entre R\$ 120,00 e 300,00 (nos modelos em plástico e em MDF), podendo chegar até R\$ 750,00 ou mais dependendo do modelo e da loja no qual é encontrado. Considerando que o móvel multifuncional possui uma terceira função além das encontradas no móvel pesquisado e, ainda a facilidade de mobilidade do produto, devido aos rodízios, bem como os materiais e processos necessários para a sua concepção, o preço definido para o móvel multifuncional desenvolvido a partir do cesto da máquina de lavar foi de R\$ 200,00. É importante ressaltar que, entre os produtos pesquisados, aqueles que tiveram o preço mais acessível, não apresentavam nenhum diferencial estético, sendo apenas uma peça em formato de cubo com uma tampa móvel, fato que contribuiu, também, para a definição do preço do móvel multifuncional, que ficou um pouco acima do valor mais baixo encontrado.

Com relação aos requisitos ambientais, as recomendações DFE e DFD atendidas (ver quadros 7, 8 e 9), bem como as práticas adotadas para este fim, dentro das estratégias definidas para esse tipo de produto, são apresentadas no quadro 13.

Quadro 13 – Recomendações atendidas e práticas adotadas nas estratégias ambientais – Móvel multifuncional

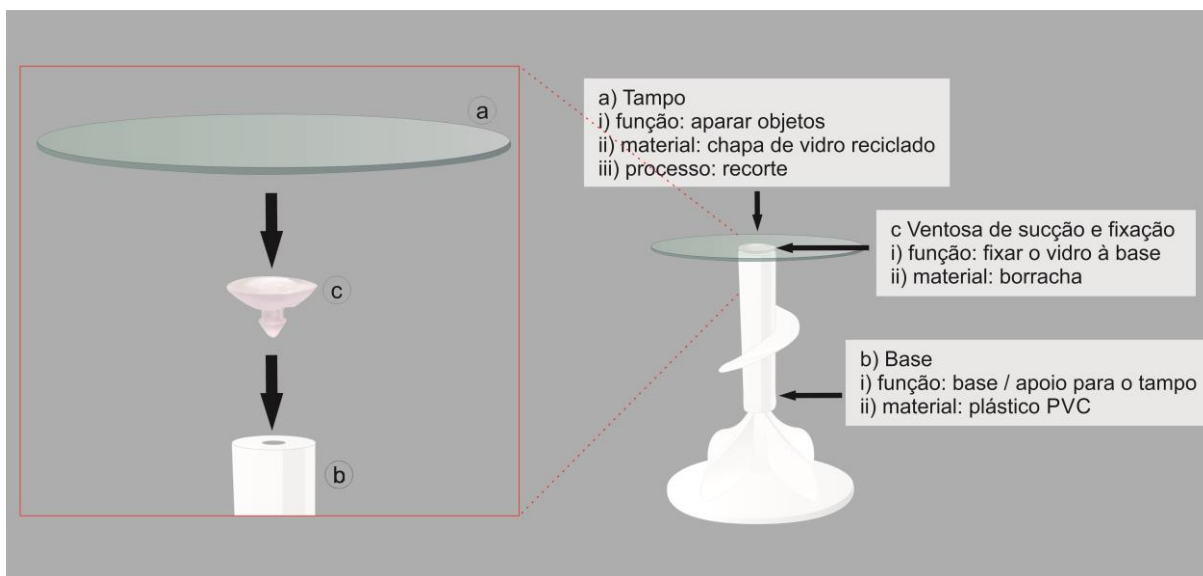
Estratégia	Recomendações	Práticas adotadas
Minimização dos recursos e escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental	Minimizar o consumo de recursos no desenvolvimento de produtos	<ul style="list-style-type: none"> • Usar instrumentos de informática para o projeto, modelagem e prototipagem.
	Escolher materiais e processos de baixo impacto	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar o uso de materiais tóxicos e perigosos no produto. • Evitar acabamentos tóxicos e danosos. • Evitar o uso de materiais que estão para se exaurir. • Usar componentes provenientes de produtos já eliminados. • Usar materiais renováveis. • Evitar o uso de materiais que estão para se exaurir.
Otimização da vida dos produtos (DFE)	Projetar a duração adequada	<ul style="list-style-type: none"> • Projetar vidas iguais para os vários componentes.
	Projetar a segurança	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar as junções frágeis.
	Intensificar o uso	<ul style="list-style-type: none"> • Projetar produtos multifuncionais com componentes comuns e substituíveis.
Facilitação da desmontagem (DFD)	Minimizar e facilitar as operações para a desmontagem e separação	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar partes assimétricas desnecessárias.

Fonte: Manzini e Vezzoli (2002).

c) Protótipo 3 – Mesinha de canto (ideia 8)

Entre as alternativas geradas a partir do batedor da máquina de lavar, a que demonstrou maior potencial para o desenvolvimento de protótipo foi a “mesinha de canto - ideia 8”. O processo de desenvolvimento do protótipo se deu através da organização do produto por partes (componentes), onde foi definida a função de cada uma delas, bem como os materiais e processos a serem utilizados em cada componente conforme ilustrado na figura 43.

Figura 43 – Componentes mesinha de canto



Fonte: o autor.

O tampo (figura 43 – detalhe “a”) foi confeccionado com vidro reciclado. Para fixar o tampo à base (figura 43 – detalhe “b”), foi inserida uma ventosa de borracha incolor (figura 43 – detalhe “c”). A base teve seu topo furado para que a ventosa pudesse ser encaixada.

De acordo com dados da ABIVIDRO (Associação Técnica das Indústrias Automáticas de Vidro), com um quilo de vidro descartado é possível se produzir um quilo de vidro novo, ou seja, neste processo obtém-se 100% de aproveitamento do material. Com o processo de reciclagem do vidro, obtém-se economia de matérias primas naturais e de energia, além de se gerar uma quantidade consideravelmente menor de poluentes. A economia de energia nesse processo, chega a cerca de 25%, em comparação com a energia necessária para obtenção de vidro puro. (< <http://www.abividro.org.br/reciclagem-abividro/reciclagem-no-brasil>> - Acesso em: 19 jun. 2013.

Como se pode perceber, para a confecção da mesinha de canto a partir do batedor da máquina de lavar, foi necessária a inserção de apenas dois acessórios, que são: a chapa de vidro recortada em formato circular e a ventosa de sucção e fixação. O batedor precisou ser furado para que a ventosa pudesse ser encaixada. Diante disso, a proposta final da mesinha de canto, inserida em um ambiente, é ilustrada na figura 44.

Figura 44 – Proposta final - Mesinha de canto



Fonte: o autor.

As características estéticas da mesinha de canto ficaram bastante evidentes, devido ao fato do desenho do batedor ter características semelhantes os desenhos das bases de mesas e banquetas. As linhas estéticas próprias do batedor, juntamente com o tampo em vidro deram um ar moderno e arrojado ao produto.

Em uma pesquisa em lojas físicas e virtuais, observou-se que o valor médio de produtos similares (boa parte dos produtos encontrados possuía base em MDF e tampo em vidro) fica entre R\$189,00 e R\$498,00. Diante disso, o preço definido para a mesinha de canto desenvolvida a partir do uso do batedor da máquina de lavar roupas é de R\$120,00, já que o único acessório necessário para completar sua função, com valor significativo, foi o tampo em vidro e, além disso, sua montagem é bastante simples e rápida.

Com relação aos requisitos ambientais, as recomendações DFE e DFD atendidas (ver quadros 7, 8 e 9), bem como as práticas adotadas para este fim, dentro das estratégias definidas para esse tipo de produto, são apresentadas no quadro 14.

Quadro 14 – Recomendações atendidas e práticas adotadas nas estratégias ambientais – Mesinha de canto

Estratégia	Recomendações	Práticas adotadas
Minimização dos recursos e escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental	Minimizar o conteúdo material do produto	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar dimensionamentos excessivos. • Evitar componentes ou partes que não sejam estritamente funcionais.
	Minimizar o consumo de recursos no desenvolvimento de produtos	<ul style="list-style-type: none"> • Usar instrumentos de informática para o projeto, modelagem e prototipagem.
	Escolher materiais e processos de baixo impacto	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar o uso de materiais tóxicos e perigosos no produto. • Evitar acabamentos tóxicos e danosos • Evitar o uso de materiais que estão para se exaurir. • Usar componentes provenientes de produtos já eliminados. • Usar materiais reciclados, em separado ou junto com outros materiais virgens.
Otimização da vida dos produtos (DFE)	Projetar a duração adequada	<ul style="list-style-type: none"> • Projetar vidas iguais para os vários componentes.
	Projetar a segurança	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar as junções frágeis. • Simplificar os produtos. • Minimizar o número de partes e componentes.
Facilitação da desmontagem (DFD)	Minimizar e facilitar as operações para a desmontagem e separação	<ul style="list-style-type: none"> • Tornar desmontáveis principalmente as partes mais sujeitas a desgaste e/ou quebras. • Minimizar as dimensões dos produtos e de seus componentes. • Facilitar a extração dos componentes e dos subconjuntos. • Minimizar o número de fixações. • Evitar fixações de difícil movimentação.

Fonte: Manzini e Vezzoli (2002)

Concluído o “passo 1” do ciclo de reaproveitamento do lixo eletrônico, inicia-se o “passo 2” (ver figura 23) que tem como objetivo a reciclagem ou a disposição final das partes que restaram do processo de separação depois de escolhidas as partes reutilizáveis que, nesse estudo, foram o gabinete e tampas fixa e móvel, cesto e batedor da máquina de lavar.

Os itens “lixo eletrônico”, “classificação” e “produto” aparecem apenas para facilitar o entendimento do processo. Desta forma, o “passo 2” tem início com o item “separação por categorias”, que ocorre da seguinte forma: as partes que restaram do produto (ver quadro 12) foram separadas em categorias de acordo com a classificação definida no tópico 3.2.5 dessa pesquisa, que são: painel de controle

(componentes internos) – categorias 1, 2, 4 e 5; motor e base inferior – categorias 1 e 2; bomba d'água – categorias 1, 2 e 4; base superior – categoria 1; tanque – categoria 4; cabo de força – categorias 2 e 4; mangueiras – categoria 4; embreagem – categorias 1 e 4; transmissão – categorias 1 e 2. Depois de separadas por categorias, as partes restantes tiveram os seguintes destinos:

- a) Resíduos: pequenas peças que possuem plástico ou borracha e metal misturados, dentro do painel de controle e da bomba d'água, por exemplo, são encaminhadas para a disposição final por não apresentarem nenhum potencial de reciclagem, devido ao fato de não haver tecnologias de reciclagem para tal, e encaixam-se na categoria “6-outros”.
- b) Reciclagem: as partes restantes possuem grande potencial de reciclagem, já que para os tipos de materiais que as compõe, já existem processos de reciclagem desenvolvidos com sucesso, conforme descrito no item 2.4.4 dessa pesquisa.

Finalizados os “passos 1 e 2” é possível perceber que a aplicação do método de desenvolvimento de produtos sustentáveis a partir do uso do lixo eletrônico, no caso da máquina de lavar roupas, possibilitou uma redução de quase 50% dos resíduos gerados, apenas através da reutilização de partes do produto, já que o gabinete e as tampas fixa e móvel representam mais de 39% da massa total da máquina de lavar, o cesto representa 6,5% e o batedor representa 3,4%.

Então, se estas partes fossem recicladas, seria muito difícil quantificar o custo e a energia gasta para o processo de transformação, além de se tornarem uma matéria prima, que na maioria dos casos, é de segunda linha. Já, com relação aos 50% restantes, pelo fato de serem constituídos de materiais como cobre, alumínio, aço, plástico, além das placas de circuito impresso, indica o grande potencial para reciclagem, proporcionando assim, boas perspectivas de reaproveitamento na forma de matéria prima.

4.3 ESTUDO DE CASO 3 - MICROONDAS

O produto escolhido para o estudo 3 foi o forno microondas (figura 45), que é um aparelho que há algum tempo faz parte da rotina das pessoas, devido a sua

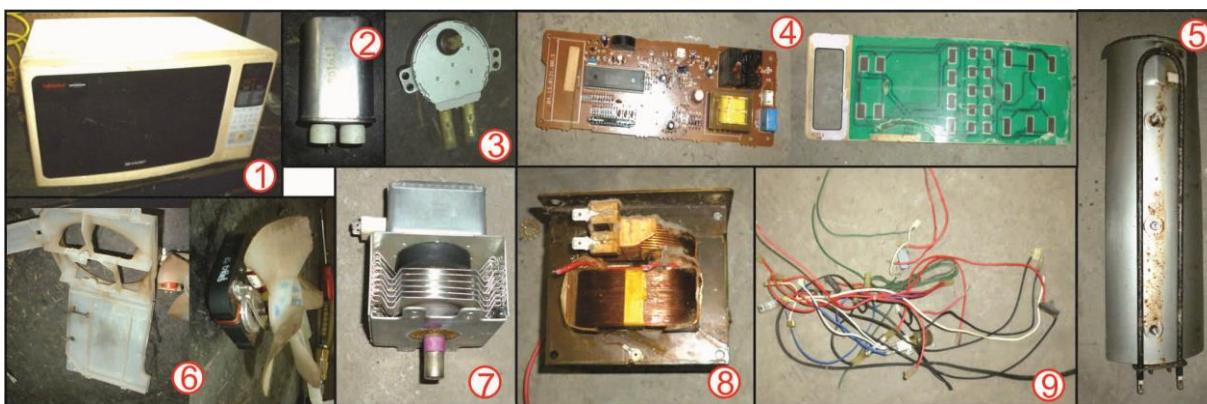
praticidade e eficiência. De acordo com Manzini e Vezzoli (2002) esse tipo de produto tem um tempo de vida útil entre 5 e 10 anos (produtos da classificação “grandes eletrodomésticos”).

Figura 45 – Forno microondas



Para a realização desse estudo foi feita uma pesquisa de campo em uma empresa de coleta de lixo eletrônico, onde o responsável desmontou um forno microondas - 30 litros, em desuso e, identificou cada parte, bem como os materiais que as compõe e, além disso, foi realizada a pesagem de cada componente, sendo que a massa total do forno microondas ficou em 16,3 kg (essa massa pode variar dependendo da marca e modelo). A figura 46 mostra os componentes do forno microondas e o quadro 15 mostra os materiais presentes nos componentes (de acordo com numeração indicada na figura 46), bem como a massa média de cada um deles.

Figura 46 – Componentes do forno microondas



Fonte: o autor.

Quadro 15 – Materiais presentes nos componentes do forno microondas

Numeração	Componente	Materiais	Massa
1	Carcaça	<ul style="list-style-type: none"> • Ferro • Plástico 	9,1kg (sendo 7,1kg de ferro e 2 kg de plástico)
2	Condensador de alta tensão	<ul style="list-style-type: none"> • Alumínio • Plástico • Metal • Cobre 	150g
3	Motor síncrono	<ul style="list-style-type: none"> • Cobre • Ferro 	100g
4	Placa de circuito impresso e película	<ul style="list-style-type: none"> • Plástico • Cobre • Ferro • Alumínio • Prata • (entre outros metais) 	250g
5	Resistência e base	<ul style="list-style-type: none"> • Inox • Cobre 	400g
6	Ventilador do magnetron e suporte	<ul style="list-style-type: none"> • Cobre • Alumínio • Ferro • Plástico 	200g
7	Magnetron	<ul style="list-style-type: none"> • Ferro • Alumínio • Íman 	850g
8	Transformador de alta tensão	<ul style="list-style-type: none"> • Ferro • Cobre • Plástico 	4,8kg
9	Fios Lâmpada Plugues	<ul style="list-style-type: none"> • Cobre • Plástico • Vidro 	250g

Fonte: o autor

A soma das massas dos 9 componentes listados no quadro 15 totalizou 16,1kg, faltando apenas 200 g, para fechar a massa total do forno microondas. Esses 200 g restantes correspondem aos parafusos e outras peças menores em plástico e metal.

Com base nesses dados, é possível dar início ao “passo 1” do ciclo de reaproveitamento (ver figura 23) que, segue a seguinte sequência:

- a) **Lixo eletrônico:** é o lixo proveniente da *coleta/transporte* conforme descrito no item 4;
- b) **Classificação:** 1 – grandes eletrodomésticos
- c) **Produto:** Forno microondas;
- d) **Partes reutilizáveis:** Carcaça

e) Tratamento/ Limpeza: a limpeza da carcaça foi realizada com o uso de sabão em pedra dissolvido em água quente, com esponja não abrasiva; na parte metálica, também foi utilizada solução alcalina e esponja não abrasiva para uma limpeza mais eficaz;

f) Desenvolvimento de novos produtos sustentáveis: esta fase é composta de três etapas: i) conceituação / estratégias DFE; ii) geração de idéias; e iii) desenvolvimento do protótipo (ver item 3.2.4), conforme descrito a seguir:

i) Conceituação / estratégias DFE

As estratégias DFE definidas para o desenvolvimento de produtos do tipo “bens duráveis (multiuso) *que utilizam pouco ou nenhum recurso (energia e materiais) durante seu uso e manutenção*” (ver item 3.2.4.1) foram:

a) Minimização dos recursos e escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental

b) Otimização da vida do produto

As estratégias DFD (ver quadro 9) servem como auxiliares para o desenvolvimento de um produto mais sustentável, já que têm como objetivo torná-los mais econômicos a desmontagem das partes que compõem o produto, bem como a separação dos materiais.

As recomendações atendidas pelo projeto nas estratégias DFE e DFD serão detalhadas mais adiante, no quadro 16.

ii) Geração de idéias

Com a definição das estratégias ambientais, que são os benefícios básicos definidos na etapa anterior, é possível iniciar o processo de geração de idéias. Considerando o dimensionamento de aproximadamente 300x540x420mm (essas dimensões podem variar dependendo do modelo e capacidade) e o material do qual é composta a parte reutilizável (ferro e plástico), algumas alternativas de produtos podem ser sugeridas, são elas:

a) Criado mudo (Ideia 1): para o desenvolvimento desse produto é necessária a inserção de pés e acessórios para fixação, além do processo de pintura. A figura 47 mostra a ilustração do criado mudo desenvolvido a partir da carcaça do forno microondas.

Figura 47 – Criado mudo (Ideia 1)



Fonte: o autor

- b) Aparador baixo (Ideia 2): para o desenvolvimento do aparador é necessária à inserção de um “nicho” para acomodar as carcaças dos fornos microondas e rodízios para dar mobilidade ao aparador e, além disso, as carcaças devem passar por um processo de pintura. A figura 48 mostra a ilustração do aparador baixo.

Figura 48 – Aparador baixo (Ideia 2)



Fonte: o autor

- c) Armário aéreo (Ideia 3): para o desenvolvimento desse produto é necessária à inserção de acessórios para fixação e processo de pintura. A figura 49 mostra a ilustração do armário aéreo para cozinha.

Figura 49 – Armário aéreo (Ideia 3)



Fonte: o autor.

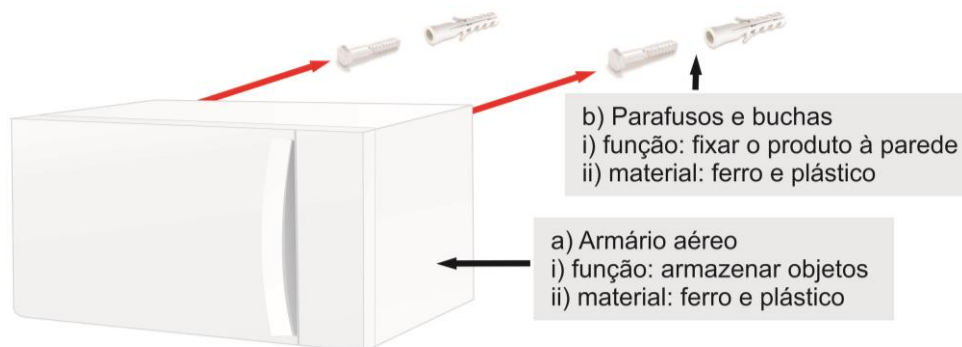
Analisando-se as alternativas apresentadas é possível perceber que todas elas precisam passar por um processo de pintura e, também necessitam de alguns acessórios para completar a nova função, sendo que, a *ideia 3* é a que menos necessita de acessórios, já que só teria que recebê-los para fixar o novo produto à parede, além disso, essa alternativa é destinada para uso na cozinha, fato que torna o produto mais condizente com a função exercida anteriormente pelo microondas.

Diante disso, a alternativa com maior potencial para o desenvolvimento do protótipo é a “ideia 3 – armário aéreo”, pelo fato de atender de forma mais completa os requisitos ambientais e estéticos.

iii) Desenvolvimento do protótipo

Para iniciar esta etapa, considerando que a “ideia 3” foi a que demonstrou maior potencial para a construção do protótipo, o produto foi organizado por partes (componentes), onde foi definida a função de cada uma delas e, em seguida foram definidos os materiais e processos utilizados em cada componente conforme ilustrado na figura 50.

Figura 50 – Componentes armário aéreo



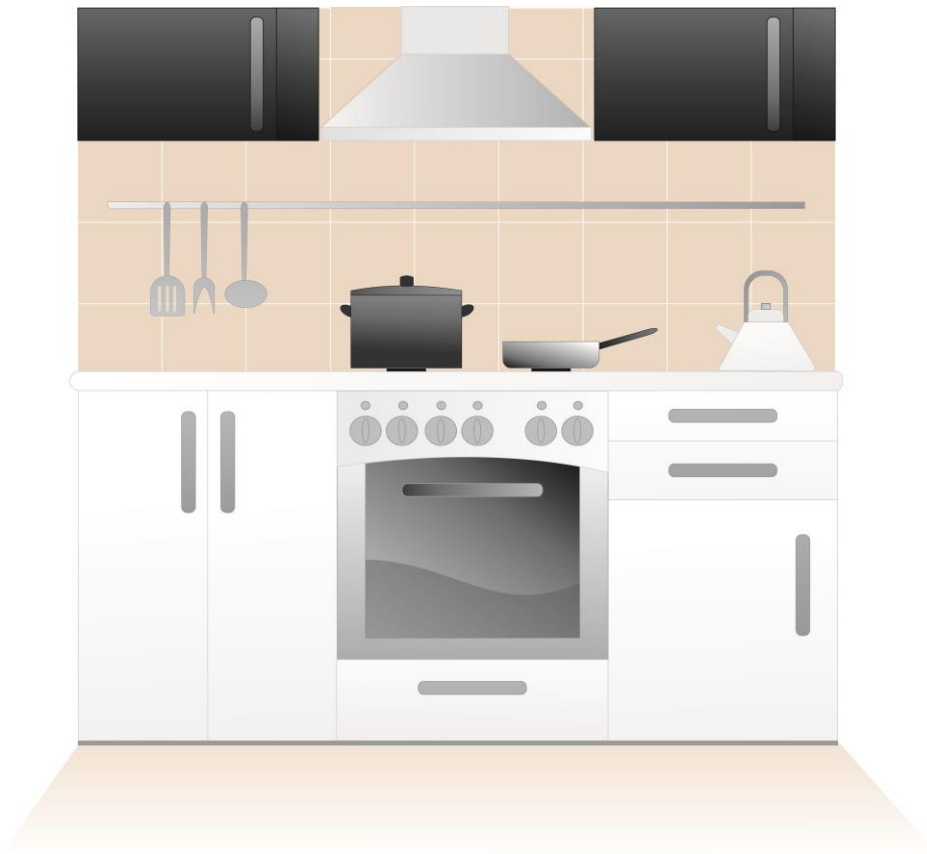
Fonte: o autor.

O armário aéreo em ferro (estrutura) e plástico (tampa frontal) figura 50 – detalhe “a”) recebeu pintura com tinta em pó epóxi. Para fixação do produto na parede, são usados parafusos de cabeça hexagonal do próprio microondas e buchas (figura 50 – detalhe “b”) em ferro e plástico respectivamente.

A tinta em pó epóxi oferece excelente aderência, flexibilidade e resistência física. Seu uso é indicado para superfícies que não ficarão expostas a intempéries e aos raios solares. A tinta em pó não contém solventes e não gera poluentes, dessa forma, é considerado um produto de baixo impacto ambiental. (<<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Tintas-e-Vernizes/Tintas-em-Po/Epoxi>> - acesso em 23 jun. 2013).

Como se pode perceber, para a confecção do armário aéreo, foi necessário apenas que a carcaça do forno microondas passasse por um processo de pintura e, fossem inseridos parafusos (do próprio microondas) e buchas para sua fixação, diante disso, a proposta final do produto, inserido em um ambiente, é ilustrada na figura 51.

Figura 51 – Proposta final – Armário aéreo



Fonte: o autor

O produto desenvolvido mostrou-se funcional, além de ter apresentado um resultado estético bastante atraente, já que possui as características formais de um microondas, causando certa surpresa por estar inserido no mesmo ambiente do produto anterior, porém, agora, exercendo uma nova função. Em uma pesquisa em lojas virtuais de móveis populares, foi constatado que o preço médio de produtos similares varia entre R\$130,00 e 320,00 (todos em madeira). Diante disso, o preço definido para o armário aéreo desenvolvido a partir da carcaça do forno microondas ficou em R\$100,00.

Com relação aos requisitos ambientais, as recomendações DFE e DFD atendidas (ver quadros 7, 8 e 9), bem como as práticas adotadas para este fim, dentro das estratégias definidas para esse tipo de produto, são apresentadas no quadro 16.

Quadro 16 – Recomendações atendidas e práticas adotadas nas estratégias ambientais – Armário aéreo

Estratégia	Recomendações	Práticas adotadas
Minimização dos recursos e escolha de recursos e processos de baixo impacto ambiental	Minimizar o conteúdo material do produto	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar dimensionamentos excessivos. • Evitar componentes ou partes que não sejam estritamente funcionais.
	Minimizar o consumo de recursos no desenvolvimento de produtos	<ul style="list-style-type: none"> • Usar instrumentos de informática para o projeto, modelagem e prototipagem.
	Escolher materiais e processos de baixo impacto	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar o uso de materiais tóxicos e perigosos no produto. • Evitar acabamentos tóxicos e danosos • Evitar o uso de materiais que estão para se exaurir. • Usar componentes provenientes de produtos já eliminados.
Otimização da vida dos produtos (DFE)	Projetar a segurança	<ul style="list-style-type: none"> • Simplificar os produtos. • Minimizar o número de partes e componentes.
Facilitação da desmontagem (DFD)	Minimizar e facilitar as operações para a desmontagem e separação	<ul style="list-style-type: none"> • Minimizar o número de fixações. • Evitar fixações de difícil movimentação.
	Usar sistemas de junções reversíveis	<ul style="list-style-type: none"> • Usar parafusos de cabeças hexagonais

Fonte: Manzini e Vezzoli (2002)

Concluído o “passo 1” do ciclo de reaproveitamento do lixo eletrônico, inicia-se o “passo 2” (ver figura 23) que tem como objetivo a reciclagem ou a disposição final das partes que restaram do processo de separação depois de escolhidas as partes reutilizáveis que, neste caso, trata-se do carcaça do microondas .

Os itens “lixo eletrônico”, “classificação” e “produto” aparecem apenas para facilitar o entendimento do processo. Desta forma, o “passo 2” tem início com o item “separação por categorias”, que ocorre da seguinte forma: as partes que restaram do produto (ver quadro 23) foram separadas em categorias de acordo com a classificação definida no tópico 3.2.5 dessa pesquisa, que são: condensador de alta tensão - categorias 1, 2 e 4; motor síncrono – categorias 1 e 2; placa de circuito impresso e película – categorias 5; resistência e base – categorias 1 e 2; ventilador do magnetron e suporte – categorias 1, 2 e 4; magnetron – categorias 1 e 2; transformador de alta tensão – categoria 1, 2 e 4; fios, lâmpada, plugues – categorias 1, 3 e 4. Depois de separadas por categorias, as partes restantes tiveram os seguintes destinos:

- a) Resíduos: pequenas peças que possuem plástico ou borracha e metal misturados (como por exemplo, o plugue do cabo de energia), são encaminhadas para a disposição final por não apresentarem nenhum potencial de reciclagem, devido ao fato de não haver tecnologias de reciclagem para tal, e encaixam-se na categoria “6-outros”.
- b) Reciclagem: as demais partes restantes possuem potencial para reciclagem, pois, como já mencionado ao longo dessa pesquisa, diversos processos de reciclagem vêm sendo desenvolvidos de forma satisfatória para processamento e recuperação de metais das placas de circuito impresso, dos metais provenientes de refugos de processos produtivos e de produtos descartados, assim como para os plásticos.

Os materiais destinados à reciclagem incluem metais ferrosos e não ferrosos, plástico, placas de circuito e vidro (apenas uma lâmpada pequena). As características desses materiais, bem como os processos disponíveis para sua reciclagem podem ser vistos no item 2.4.4 dessa pesquisa.

Finalizados os “passos 1 e 2” é possível perceber que a aplicação do método de desenvolvimento de produtos sustentáveis a partir do uso do lixo eletrônico, no caso do forno microondas, possibilitou uma redução de aproximadamente 55% dos

resíduos gerados, apenas através da reutilização da carcaça do produto, essa porcentagem foi calculada a partir dos dados obtidos na pesquisa de campo realizada por esse autor, onde um forno microondas, bem como seus componentes foram desmontados e pesados.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÃO

Nos últimos anos a pressão política e da sociedade como um todo com relação à preservação dos recursos naturais, bem como o interesse dos clientes por produtos que possuem materiais e processos de baixo impacto ambiental têm demonstrado o quão essencial tornou-se o tema desenvolvimento sustentável, que visa garantir as mesmas oportunidades das gerações atuais, para as gerações futuras.

Frente a atual perspectiva do mercado, que se encontra cada vez mais competitivo, o processo de desenvolvimento de produtos vem aprimorando um conjunto de atividades que tem como objetivo satisfazer as necessidades do mercado considerando as possibilidades e limitações da tecnologia, sempre levando em consideração as estratégias da empresa. Apesar dos autores apresentarem diferentes visões com relação às fases que compõe o PDP, todos concordam que as decisões importantes devem ser tomadas no início do processo, onde eventuais mudanças geram custos menores comparado com as fases mais avançadas; que as atividades seguem um ciclo comum, como gerar alternativas, construir, testar, propor melhorias; e que diversas exigências devem ser seguidas para que se obtenha um produto com maior chance de sucesso. Diante disso, é possível perceber que cada dado obtido contribui para o desenvolvimento das etapas seguintes e, que a busca por melhores resultados ocorre durante todo o processo.

Diante da exigência cada vez maior dos governos e da sociedade em geral, por produtos mais sustentáveis, diversas ferramentas vêm sendo desenvolvidas para contribuir com o desenvolvimento de produtos mais “limpos”. Apesar de não haver um modelo consolidado de desenvolvimento de produtos sustentáveis, o referencial teórico aponta para a importância de se aplicar as estratégias ambientais já nas fases iniciais do projeto, além, de ressaltar a necessidade de se projetar todo o ciclo de vida do produto.

O ciclo de vida do produto é composto de cinco fases que são a pré-produção, produção, distribuição, uso e descarte. Conhecer as informações referentes às etapas do ciclo de vida contribui para a avaliação dos impactos

associados ao produto já nas primeiras etapas do projeto, fato que facilita a definição das estratégias ambientais mais eficazes para cada fase da vida do produto, desde a extração dos recursos para o seu desenvolvimento até o seu pós-descarte.

Entre os métodos mais citados para a contribuição com a minimização dos impactos ambientais causados pelos produtos está o DFE (ou Ecodesign) sendo que várias outras ferramentas DFX têm seus procedimentos ligados aos fundamentos de desenvolvimento de produtos sustentáveis e do DFE, entre elas estão o DFD e o DFR. O uso dessas ferramentas visa à tomada de decisões importantes no início do projeto, através das informações do ciclo de vida, reduzindo dessa forma os impactos dos produtos, bem como os custos de projeto. Dentre os benefícios do uso dessas ferramentas pode-se destacar a utilização mais eficiente dos recursos, o prolongamento da vida do produto e a maior recuperação e reutilização de produtos em fim de vida.

O lixo eletrônico, proveniente do descarte de equipamentos elétricos e eletrônicos, é um tipo de resíduo diferente de outras formas de resíduos urbanos ou industriais, devido ao fato de conter materiais nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, exigindo dessa forma, tratamento especial em seu fim de vida. Milhões de toneladas de lixo eletrônico são produzidos a cada ano, diante disso, diversas normas e leis vêm sendo instauradas em todo o mundo, com o objetivo de minimizar os impactos causados por esses resíduos. O descarte desenfreado ou ainda, a reciclagem feita de forma inadequada do lixo eletrônico geram emissões que podem gerar graves impactos sobre a saúde e o meio ambiente, já que contém materiais altamente tóxicos como chumbo, cádmio, mercúrio, retardadores de chamas, entre outros, mas, por outro lado, contém materiais valiosos, como ouro, prata e cobre, por exemplo, que podem ser recuperados.

Devido ao grande descarte de produtos, uma política voltada aos impactos gerados em todo o ciclo de vida do produto, compreendendo desde sua fase de projeto até a gestão do produto em fim de vida, vem sendo adotada por um grande número de governantes, a chamada Extended Producer Responsibility (EPR). A EPR é uma estratégia que visa atribuir aos fabricantes à responsabilidade física e financeira pelos impactos ambientais de seus produtos em fim de vida, fato que incentiva o planejamento de todo o ciclo de vida do produto, para que, quando

chegar o momento de dar o correto destino ao produto em fim de vida, o processo seja mais simples e menos oneroso.

Diante do contexto acima descrito, o presente estudo buscou responder a seguinte questão: “Como o processo de desenvolvimento de produtos sustentáveis pode contribuir para a minimização dos impactos ambientais causados pelo descarte incorreto de equipamentos elétricos e eletrônicos através do uso dos materiais inclusos no lixo eletrônico?”

Com o objetivo de responder a esse questionamento, esta pesquisa propõe o Método de Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis a partir do uso do Lixo Eletrônico, que indica os passos a serem seguidos para se chegar a soluções de novos produtos através do uso de partes do lixo eletrônico. Nesse método é adotado o uso da EPR, visando colocar ao fabricante a responsabilidade pelo seu produto em fim de vida e, são utilizadas algumas diretrizes do PDP tradicional, aliadas as estratégias DFE e DFD, visando dessa forma, a redução dos impactos ambientais causados pelo lixo eletrônico, bem como orientar o projetista ao desenvolvimento de produtos mais sustentáveis. O método ainda apresenta a reciclagem como uma segunda opção de reaproveitamento, porém, o foco principal desta pesquisa é o reaproveitamento a partir das partes com potencial para reutilização de forma íntegra no desenvolvimento de produtos.

Os resultados obtidos através da aplicação do método proposto, nos estudos realizados, foram positivos, já que uma quantidade significativa de materiais que antes era considerado lixo, passou a ter novo valor. É possível perceber que em alguns produtos, há maior possibilidade de recuperação de partes destinadas a reutilização através do desenvolvimento de novos produtos, enquanto em outros, o número de partes com potencial de reutilização é menor, como pode ser comparado nos estudos que apresentaram os seguintes resultados de reaproveitamento apenas através da reutilização de partes: 20% (estudo 1 – Monitor CRT), 50% (estudo 2 – Máquina de lavar) e 55% (estudo 3 – Forno Microondas). Lembrando que a viabilidade econômica (custos do projeto) não foi explorada nos estudos.

Os produtos desenvolvidos são apenas exemplos do que pode ser criado a partir do lixo eletrônico, já que, melhores resultados podem ser obtidos, se uma equipe multidisciplinar estiver empenhada no desenvolvimento de novos produtos,

propondo diversas soluções de acordo com a experiência de cada um, dentro de cada área de atuação.

As orientações fornecidas pelo método são voltadas as melhorias nas questões ambientais, porém, podem contribuir com questões econômicas e sociais através da criação de uma nova categoria de produtos e, conseqüente geração de empregos, além disso, os produtos desenvolvidos têm um valor menor do que a média de mercado, possibilitando o acesso de pessoas de baixa renda a aquisição de um produto com *design* diferenciado, sem ter seu custo elevado por isso, sem falar no fato de se estar adquirindo um produto sustentável, que já é requisito importante na decisão de compra por um grande número de consumidores.

Em uma análise geral dos resultados obtidos através dos estudos realizados, é possível concluir que o método proposto, apesar de ter sido aplicado em apenas três estudos, mostrou-se promissor no que diz respeito à redução dos impactos ambientais causados pelo descarte incorreto dos EEE em fim de vida, além de propiciar resultados de produtos que atendem tanto às características funcionais e estéticas quanto às ambientais.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Ao longo do desenvolvimento dessa pesquisa, foi possível constatar alguns pontos a serem explorados como temas de pesquisas futuras, são eles:

- 1) Desenvolver a etapa de reciclagem do método proposto;
- 2) Aplicar o método no desenvolvimento de outros produtos para verificar sua eficiência em diferentes casos e identificar possíveis melhorias;
- 3) Aplicar LCA para avaliar os impactos dos produtos desenvolvidos;
- 4) Estudar os aspectos ergonômicos no desenvolvimento dos produtos;
- 5) Fazer uma análise da viabilidade técnica e econômica dos novos produtos constituintes de materiais provenientes do lixo eletrônico;

- 6) Estudar a viabilidade de padronização das dimensões dos produtos, por parte dos fabricantes, visando com isso, que sejam projetados para o reuso.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). Disponível em: <<http://www.abal.org.br/aluminio>> . Acesso em: 5 jun. 2013).

ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE VIDRO (ABIVIDRO). Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/reciclagem-abividro/reciclagem-no-brasil>>. Acesso em: 19 jun. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). Disponível em:

ABRANTES, J. Ciclo de vida de um produto: considerações mercadológicas, da produção e de conservação do meio ambiente. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA (SEGET), 2., Rezende, Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-ISO 14040: 2009. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.

AZEVEDO, P.S.; NOLASCO, A.M. Fatores de Incorporação de Requisitos Ambientais no Processo de Desenvolvimento de Produtos em Indústrias de Móveis Sob Encomenda. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.8, p. 2422-2427, nov. 2009.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Manole, 2008. V.1.

BAUMANN, H.; BOONS, F.; BRAGD, A. Mapping the green product development field: engineering, policy and business perspectives. **Journal of Cleaner Production**, Vol. 10, p. 409-425, 2002.

BAXTER, M. **Projeto de Produto: guia prático para o design de novos produtos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BENNETT, S.J. **Ecoempreendedor: oportunidades de negócios decorrentes da revolução ambiental**. São Paulo: Makron Books, 1992.

BORCHARDT, M.; POLTOSI, L. A. C.; SELBITTO, M. A.; PEREIRA, G. M. Considerações sobre ecodesign: um estudo de caso na indústria eletrônica automotiva. **Ambiente e Sociedade**, Campinas, v. 11, n. 2, p. 341-353, jul. /dez. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/asoc/v11n2/v11n2a09.pdf>> . Acesso em: 23 mai. 2012.

BRASIL. LEI nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Brasília, 2010. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 20 mai. 2013.

BREZET, H. Dynamics in ecodesign practices. **Industry and Environment**, v. 20 n. 1/2, p. 21-24, jan./jun. 1997.

BRYMAN, A. **Research Methods and Organization Studies**. London: Routledge, 1989.

CANNING, L. Rethinking market connections: mobile phone recovery, reuse and recycling in the UK. **Journal of Business & Industrial Marketing**, v. 21, p. 320-329, 2006.

CHEN, J. A. General Study of Design for Disassembly for Electronic Products. **IEEE**, p. 544.549. 2010.

CLARK, K.B.; FUJIMOTO, T. **Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry**. Boston: Harvard Business Press, 1991.

CLAUSING, D. **Total Quality Development: a step-by-step guide to world-class concurrent engineering**. New York: ASME Press, 1994.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CMMAD). **Nosso futuro comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV, 1991. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/12906958/Relatorio-Brundtland-Nosso-Futuro-Comum-Em-Portugues>>. Acesso em: 25 mai. 2012.

CORAL, E.; OGLIARI, A.; ABREU, A. F. **Gestão Integrada da Inovação: Estratégia, Organização e Desenvolvimento de Produtos**. São Paulo: Atlas, 2006.

DIAS, R. **Gestão Ambiental Responsabilidade Social e Sustentabilidade**. São Paulo: Atlas, 2006.

DORFLES, G. **Introdução ao desenho industrial: linguagem e história da produção em série**. Lisboa: Edições 70, 2002.

ESPINOSA, H. R. M. Desenvolvimento e meio ambiente sob nova ótica. **Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 40-44, 1993.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). **Waste from Electrical and Electronic Equipments WEEE: quantities, dangerous substances and treatment methods**. Copenhagen: European Topic Centre on Waste, 2003.

EUROPEAN UNION. Directive 2002/95/EC on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. Brussels, 2003.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE BANCOS (FEBRABAN). **17º Café com Sustentabilidade**. Disponível em: <www.febraban.org.br/>. Acesso em: 05 abr. 2012.

FIKSEL, J. **Design for Environment: a guide to sustainable product development**. New York: Mc Graw Hill, 2009.

FONSECA, A.J.H.. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional**. 2000. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Florianópolis. 2000.

FORCELLINI, F.A. **Curso: Projeto Conceitual**. Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos da UFSC, NEDIP, 2002.

FRAZZOLI, C.; ORISAKWE, O.E.; MANTOVANI, A. Diagnostic health risk assessment of electronic waste on the general population in developing countries' scenarios. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 30, n.6, p. 388-399, nov. 2010.

GEHIN, A.; ZWOLINSKI, P.; BRISSAUD, D. A tool to implement sustainable end-of-life strategies in the product development phase. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 5, p. 566-576, mar. 2008.

GERBASE, A.E.; OLIVEIRA, C. R. Reciclagem do lixo de informática: uma oportunidade para a química. **Quim. Nova**, v. 35, n. 7, p. 1486-1492, 2012.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 57-63, mar./abr. 1995.

GRAY, D. E. **Pesquisa no mundo real**. 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2012.

GRIESE, H.; STOBBE, L.; REICHL, H.; STEVELS, A. **Eco-Design and Beyond: Key Requirements for a Global Sustainable Development**. International Conference on Asian Green Electronics, 2005.

GRUENWALD, G. **Como desenvolver e lançar um produto novo no mercado**. São Paulo: Makron Books, 1994.

GUIMARÃES, L.B.M. Sociotechnical design for a sustainable world. **Theoretical Issues in Ergonomics Science**, v.13, n.2, p.240–269, mar./abr. 2012.

GUNGOR, A.; GUPTA, S.M. Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey. **Computers & Industrial Engineering**, v. 36, n.4, p. 811-853, set. 1999.

HAGELÜKEN, C. Recycling of Electronic Scrap at Umicore's Integrated Metals Smelter and Refinery. **World of Metallurgy – ERZMETALL**, v. 59, n. 3, p. 152-161. 2006. Disponível em: < http://www.preciousmetals.umicore.com/PMR/Media/e-scrap/show_recyclingOfEscrapAtUPMR.pdf>. Acesso em 10 jun. 2012.

HAGELÜKEN, C.; CORTI, C. W. Recycling of gold from electronics: Cost-effective use through 'Design for Recycling'. **Gold Bulletin**, v. 43, n. 3, p. 209-220, 2010. Disponível em: < <http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2FBF03214988.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; GUINÉE, J.B. Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis. **Polymer Degradation and Stability**, v.95, 2010.

HERAT, S. Sustainable Management of Electronic Waste (e-Waste). **Clean – Soil, Air, Water**, v. 35, n. 4, p. 305-310, set. 2007.

HUANG, G.Q. **Design for X**: concurrent engineering imperatives. London: Chapman & Hall, 1996.

HUNDAL, M. Life Cycle Assessment and Design for the Environment. In: INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE - Design 2000. Dubrovnik, University of Zagreb, 2000.

KANG, H.Y.; SCHOENUNG, J.M. Electronic waste recycling: A review of U.S. infrastructure and technology options. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 45, n. 4, p. 368–400, dez.2005.

KASPER, A.C.; COSTA, R.C.; ANDRADE, P.A.; VEIT, H.M.; BERNARDES, A.M. Caracterização de Sucatas Eletrônicas Provenientes de Baterias Recarregáveis de Íons de Lítio, Telefones Celulares e Monitores de Tubos de Raios Catódicos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 12, p. 9-17, abr. 2009. Disponível em: <http://www.rbciamb.com.br/images/online/RBCIAMB -N12-Abr-2009-Materia02_artigos201.pdf>. Acesso em: 30 mai. 2013.

KHETRIWAL, D.S.; KRAUECHI, P.; WIDMER, R. Producer responsibility for e-waste management: Key issues for consideration - Learning from the Swiss experience. **Journal of environmental management**. V. 90, n. 1, p. 153-165, jan. 2009.

KRALJ, D. Innovative systemic approach for promoting sustainable innovation for zero construction waste. **Kybernetes**, v. 40, n. 1/2, p. 275-289, 2011.

KUMAR, V.; BEE, D.J.; SHIRODKAR, P.S.; TUMKOR, S.; BETTIG, B.P.; SUTHERLAND, J.W. Towards Sustainable “Product and Material Flow” Cycles: Identifying Barriers to Achieving Product Multi-Use and Zero Waste. In: ASME INTERNATIONAL MECHANICAL ENGINEERING CONGRESS AND EXPOSITION. 2005.

KUO, T.K. Waste electronics and electrical equipment disassembly and recycling using Petri net analysis: Considering the economic value and environmental impacts. **Computers & Industrial Engineering**, v. 65, n. 1, p. 54-64, mai. 2013.

KURK, F.; EAGAN, P. The value of adding design for the environment to pollution prevention assistance options. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 6, p. 722-726, abr. 2008.

LAVAR, H. **Tinta em Pó Curável por UV**. Ciba Especialidades Químicas Ltda. Disponível em: <http://www.atbcr.com.br/po_uv.htm>. Acesso em: 07 jun. 2013.

- LINDHQUIST, T. **Extended producer responsibility in cleaner production: Policy Principle to Promote Environmental Improvements of Product Systems**. 2000. 196 f. Tese (Doutorado). Lund University, Suécia, mai. 2000. Disponível em: <<http://www.lub.lu.se/luft/diss/tec355.pdf>>. Acesso em 10 abr. 2012.
- LJUNGBERG, L.Y. L. Materials selection and design for development of sustainable products. **Materials and Design**, v. 28, n. 2, p. 466–479, 2007.
- LÖBACH, B. **Design industrial: bases para a configuração dos produtos industriais**. São Paulo: Edgar Blücher, 2001.
- MANZINI, E.; VEZZOLI, C.; **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo. Ed. USP, 2002.
- MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- MARX, A.M.; DE PAULA, I.C.; SUM, F. Sustainable consumption in Brazil: Identification of preliminary requirements to guide product development and the definition of public policies. **Natural Resources Forum**, v. 34, n. 1, p. 51–62, fev. 2010.
- MATTIODA, R.A.; FERNANDES, P.T.; CASELA, J.L.; CANGIOLIERI JR., O. Projeto integrado de produto orientado para a sustentabilidade: uma visão do desenvolvimento de produto. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 19, 2012, Bauru. Anais XIX SIMPEP, 2012.
- MATTIODA, R. A.; FERNANDES, P. T.; CASELA, J. L. e CANGIOLIERI JUNIOR, O. Principle of Triple Bottom Line in the Integrated Development of Sustainable Products. **Chemical Engineering Transactions**. V. 35, 2013.
- MAWAKDIYE, A. Meio Ambiente: Poluição eletrônica. **Revista da Indústria**, v. 129, n. 7, p. 50-53, jun. 2007.
- MENAD, N. Cathode ray tube recycling. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 26, n. 3-4, p. 143-154, jun. 1999.
- MENGER, R.K.; VERONESE, V.B., PETZHOLD, C.L. **Poliuretanos sintetizados a partir de óleos vegetais modificados**. 31ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<http://sec.s bq.org.br/cdrom/31ra/resumos/T0439-1.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2013.
- MEULEN, R. **Gartner says worldwide mobile phone sales increased 16 per cent in 2007**. Press release, Egham, UK, 27 fev. 2007. Disponível em: <<http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=612207>>. Acesso em: 30 mai. 2012.
- MIEN, H.L.; FENG, L.W.; GAY, R.K.L. An Integrated Manufacturing and Product Services System (IMPSS) Concept for Sustainable Product Development. In: FOURTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE ENVIRONMENTALLY CONSCIOUS DESIGN AND INVERSE MANUFACTURING, 2005.

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**, v. 52, n. 6, p. 843-858, abr. 2008.

NORMAN, D.A. **Design Emocional**: Por que adoramos (ou detestamos) os objetos do dia-a-dia. São Paulo: Rocco, 2008.

NUNAN, D. **Research methods in language learning**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Extended and Shared Producer Responsibility**. Phase 2. Framework Report. 1998. Disponível em: <<http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/EPOC/PPC%2897%2919/REV2&docLanguage=Em>>. Acesso em: 12 abr. 2012.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Extended Producer Responsibility: A Guidance Manual for Governments**. Paris:OECD. 2001.

OTTE, M. **Ecodesign**: o uso do design ambientalmente adequado, um estudo de caso na indústria moveleira Butzke. 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Ambiental) – Universidade Regional de Blumenau, abr. 2008.

PAES, J.B.; OLIVEIRA, A.K.F.; OLIVEIRA, E.; LIMA, C.R. Caracterização físico-mecânica do laminado colado de bambu. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 41-51, jan./mar. 2009

PAHL, G.,; BEITZ, W. **Engineering design**: a systematic approach. Glasgow: Springer Verlag, 1996.

PEREIRA, M.A.R.; BERALDO, A.L. **Bambu de Corpo e Alma**. Bauru, SP: Canal 6, 2007. Disponível em: <http://www.canal6.com.br/ed/wp-content/download/Trecho_inicial_Bambu.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2013.

PEREIRA, P. I. **Construção Sustentável**: o desafio. 2009. 122 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2009.

PERUZZO, T.M.; CANTO, E.L. **Química na abordagem do cotidiano**. 2.ed. v. 3. São Paulo: Moderna, 2000.

PETTEY, C.; MEULEN, R. **Gartner Says In the Fourth Quarter of 2008 the PC Industry Suffered Its Worst Shipment Growth Rate Since 2002**. Press release, Stamford, 15 jan. 2009. Disponível em: <<http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=612207>>. Acesso em: 30 mai. 2012.

POLUCHA, F.S.; WATANABE, H.L.; FERNANDES, D.M.P. Design para Sustentabilidade: Bambu Laminado e Vidro Reciclado na Produção de Móveis. In: 7º CONGRESSO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN. Paraná, 2006.

PUCKETT, J. BYSTER, L.; WESTERVELT, S.; GUTIERREZ, R.; DAVIS, S.; HUSSAIN, A.; DUTTA, M. **Exporting Harm The High-Tech Trashing of Asia**. The Basel Action Network e Silicon Valley Toxics Coalition, 2002.

RAMANI, K.; RAMANUJAN, D.; BERNSTEIN, W.Z.; ZHAO, F.; SUTHERLAND, J.; HANDWERKER, C.; CHOI, J.; KIM, H.; THURSTON, D. Integrated Sustainable Life Cycle Design: A Review. **Journal of Mechanical Design**, v.132, n. 9, set. 2010.

RIBAS, A.; CASAGRANDE, P. F.; MENEGHEL, P. F.; MARTINS, R. **A Utilização de Recicláveis na Arquitetura**. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Arquitetura & Urbanismo: Florianópolis, 2008. Disponível em: <http://www.arq.ufsc.br/arq_5661/trabalhos_2008-2/reciclaveis/materiais_reciclaveis.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2013.

ROBINSON, B.H. E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. **Science of the total environment**, v. 408, n. 2, p. 183-189, dez. 2009.

ROMEIRO, A.R. Desenvolvimento sustentável e mudança organizacional: notas preliminares. **Texto para Discussão**, Campinas, n. 68, abr. 1999. Disponível em: <www.eco.unicamp.br/docprod/downarq.php?id=1698&tp=a>. Acesso em: 15 mai. 2012.

ROOZENBURG, N. F. M.; EEKELS, J. **Product Design: fundamentals and methods**. Chichester, England: John Wiley & Sons, 1995.

ROSE, C.M. **Design for environment: a method for formulating products end-of life strategies**. 2000. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Stanford University, nov. 2000.

ROSSEM, C. **Individual Producer Responsibility in the WEEE Directive: From Theory to Practice?**. 2008. 364 f. Tese (Doutorado em Economia Ambiental Industrial), Lund University, Suécia, dez. 2008. Disponível em: <<https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=1266797&fileId=1266800>>. Acesso em: 15 jun. 2012.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência para a Melhoria do Processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SACHS, I. **Desenvolvimento incluyente, sustentável, sustentado**. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

SCHLUEPA, M.; HAGELUEKEN, C.; KUEHR, R.; MAGALINI, F.; MAURER, C.; MESKERS, C.; MUELLER, E.; WANG, F. **Sustainable Innovation and Technology Transfer Industrial Sector Studies: Recycling from e-waste to resources**. United Nations Environment Programme (UNEP). 2009.

SILVEIRA, G.T.R.; CHANG, S.Y. Cell phone recycling experiences in the United States and potential recycling options in Brazil. **Waste management**, New York, v. 30, n. 11, p. 2278-2291, jun. 2010.

TINGSTRÖM, J.; KARLSSON, R. The relationship between environmental analyses and the dialogue process in product development. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, n. 15-16, p. 1409-1419, 2006.

TOJO, N. **Extended Producer Responsibility as a Driver for Design Change: Utopia or Reality?**. 2004. 349 f. Tese (Doutorado em Economia Ambiental Industrial) – Lund University, Suécia, set. 2004. Disponível em: < <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=21840&fileId=1967179>>. Acesso em 20 mai. 2012.

TOJO, N.; LINDHQUIST, T.; DAVIS, G. A. EPR Programme Implementation: Institutional and Structural Factors. In: OECD SEMINAR ON EXTENDED PRODUCER RESPONSIBILITY. Paris, 2001, p. 1-46. Disponível em: <<http://www.metrovancouver.org/services/solidwaste/planning/ReportsforQA/OECDPEPRProgramImplementationAndAssessment.pdf>>. Acesso em 13 abr. 2012.

TU, J.T.; HSU, F.I. The Ecodesign Strategy on Product Research and Development from the Life-Cycle Design. **IEEE EcoDesign'99**, p. 351-356. 1999.

ULLMAN, D.G. **The Mechanical Design Process**. New York: McGraw-Hill, 1992.

ULRICH, K.T.; EPPINGER, S.D. **Product design and development**. Boston: McGraw-Hill, 2004.

UMICORE. **Manual de Reciclagem do Lixo Eletrônico**. 2009. Disponível em: <<http://www.umicore.com.br/quemSomos/manualUmicore/>>. Acesso em: 20 mai. 2012.

VASQUES, A. C. **PRODUTO 57: Estudo da Reciclagem de Metais no País**. Ministério de Minas e Energia – MME. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral-SGM, novembro de 2009. Disponível em: http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/estudos_consolidados/P57_RT83_Reciclagem_de_Metais_no_Pais.pdf. Acesso em: 10 jun. 2013.

VENZKE, C.S. **A Situação do Ecodesign em Empresas Moveleiras da Região de Bento Gonçalves, RS: Análise da Postura e das Práticas Ambientais**. 2002. 126 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

VERCALSTEREN, An. Integrating the ecodesign concept in small and medium-size enterprises: Experiences in the Flemish Region of Belgium. **Environmental Management and Health**, v. 12, n. 4, p. 347-355, 2001.

VIGON, B. W.; TOLLE, D. A.; CORNABY, B. W.; LATHAM, H. C. **Life-Cycle Assessment: inventory guidelines and principles**. Ohio: Environmental Protection Agency (EPA), 1993. Disponível em: <<http://infohouse.p2ric.org/ref/14/13578.pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2012.

WBCSD (World Business Council for Sustainable Development). **Eco-efficiency: creating more value with less impact**. 2000. Disponível em: <http://www.wbcsd.org/web/publications/eco_efficiency_creating_more_value.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2012.

WIDMER, R.; OSWALD-KRAPF, H.; SINHA-KHETRIWAL, D.; SCHNELLMANN, M., BONI, H. Global perspectives on e-waste. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 25, n.5, p. 436-458, jul. 2005.

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2001.

ZUIDWIJK, R; KRIKKE, H. Strategic response to EEE returns - product ecodesign or new recovery processes. **European Journal of Operations Research**, v. 191, n. 3, p. 1206-1222, dez. 2008.

FORD amplia o uso de materiais naturais nos veículos. **Revista Meio Ambiente Industrial**, 20 set. 2011. Disponível em: <<http://rmai.com.br/v4/Read/935/ford-amplia-o-uso-de-materiais-naturais-nos-seus-veiculos.aspx>>. Acesso em: 18 jun. 2013).