

CONTRIBUIÇÕES PARA O DIAGNÓSTICO SOBRE O e-LIXO DE TECNOLOGIA DE
INFORMAÇÃO NAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR INSTALADAS NA
CIDADE DE CAMPOS DOS GOYTACAZES: UM ESTUDO DE CASO

FERNANDO CESAR COELHO FRANÇA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

2011

CONTRIBUIÇÕES PARA O DIAGNÓSTICO SOBRE O e-LIXO DE TECNOLOGIA DE
INFORMAÇÃO NAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR INSTALADAS NA
CIDADE DE CAMPOS DOS GOYTACAZES: UM ESTUDO DE CASO

FERNANDO CESAR COELHO FRANÇA

Dissertação apresentada ao Centro de Ciência e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadora: Professora Gudelia G. Morales de Arica

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

2011

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus, por dar-me oportunidades para melhorar e seguir meu caminho.

A minha mãe, que sempre me motiva a perseverar e não desistir jamais.

A professora Gudelia Morales, pela sua amizade, boa vontade, disposição e competência em orientar trabalhos acadêmicos. Pelo estímulo quando tudo parecia ser complexo e pela confiança depositada em mim.

Ao meu amigo Marcus Sales, por formarmos uma equipe harmônica junto à professora Gudelia Morales.

Aos meus amigos, pelos momentos de descontração, necessários para o descanso, após uma jornada de trabalho.

Aos professores e funcionários do LEPROD, em particular a Kátia, o Rogério e o professor Arica, pelo apoio e amizade.

Ao professor Emerson Brum Bittencourt, pelo seu apoio na elaboração deste trabalho.

A professora Angela Rocha, pelas correções de erros gramaticais na elaboração desta dissertação.

A UENF, pela oportunidade de cursar o mestrado.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Contextualização	14
1.2 Visão geral do problema de pesquisa	15
1.3 Objetivos do estudo	18
1.3.1 Os objetivos gerais deste trabalho são:.....	18
1.3.2 Os objetivos específicos deste trabalho são:	18
1.4 Justificativa do trabalho.....	18
1.5 Metodologia de pesquisa	20
1.6 Estrutura do trabalho	22
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1 Situação do e-lixo no Mundo	23
2.1.1 Fabricantes de hardware de PCs.....	25
2.1.2 Volumes de e-lixo em alguns países em desenvolvimento	26
2.1.3 PCs em desuso em alguns países em desenvolvimento.....	28
2.2 Situação do e-lixo no Brasil	29
2.3 Avaliação de Ciclo de Vida.....	31
2.3.1 Primeiro exemplo: um PC <i>desktop</i> com monitor CRT.....	35
2.3.2 Segundo exemplo: tela de LCD.....	40
2.3.3 Terceiro exemplo: Circuitos Integrados	40
2.3.4 Impactos relevantes na etapa de reciclagem de e-lixo sobre o ambiente	48
2.4 Logística reversa.....	49
2.4.1 Determinantes da logística reversa	51
2.4.1.1 Econômicos	51
2.4.1.2 Legislação.....	52
2.4.1.3 Cidadania corporativa.....	52
2.4.1.4 Ambientais.....	53
2.4.2 Logística reversa para empresas fabricantes de PCs	53
2.4.3 Logística reversa sob a óptica das dimensões do balanced scorecard	54
2.4.3.1 Perspectiva do cliente	54
2.4.3.2 Perspectiva de negócios internos	55
2.4.3.3 Perspectiva de aprendizagem e inovação	55
2.4.3.4 Perspectiva econômica	56

2.4.4 Alternativas para operações de logística reversa para fabricantes de PCs	56
2.4.4.1 Terceirização da desmontagem	56
2.4.4.2 Operacionalização de logística simbiótica	58
2.4.4.3 Rede de logística reversa virtual para PCs	59
2.4.5 Bons exemplos de atividades de logística reversa.....	60
2.4.5.1 O Remade	60
2.4.5.2 Práticas de atividades de logística reversa em algumas IES	61
2.4.5.3 Alguns exemplos específicos de reciclagem de PCs e equipamentos relacionados em pesquisas acadêmicas	62
2.4.6 Transferência de tecnologias inovadoras para reciclagem de PCs	65
2.4.6.1 Os mercados para tecnologias de reciclagem.....	68
2.4.6.2 Fundamentos de reciclagem de e-lixo	68
2.4.6.3 Mercados para tecnologias inovadoras de reciclagem de e-lixo	74
2.4.6.4 Tecnologias de pré-processamento.....	75
2.4.6.5 Tecnologias de processamento final.....	77
2.4.6.6 PCIs e pequenos dispositivos eletrônicos.....	77
2.4.6.7 Sustentabilidade dos processos atuais de reciclagem versus tecnologias inovadoras ..	79
2.4.7 Logística reversa e ACV.....	83
CAPÍTULO 3 - ESTUDO DE CASO	85
4.1 Introdução.....	97
4.2 Objetivo da proposta.....	98
4.3 Desafios identificados para a implementação do centro de armazenagem e triagem para e-lixo.....	98
4.4 Instruções gerais para implantação de um Centro de Armazenagem e Triagem nas IES ..	98
4.5 Um modelo de tratamento de PCs <i>desktop</i> obsoletos em uma IES	102
4.6 Importância de um centro de armazenagem e triagem para PCs de IES.....	103
4.6.1 Fluxograma das operações do centro de armazenagem e triagem	103
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES.....	105
SUGESTÕES DE TEMAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
APÊNDICE A	117
APÊNDICE B.....	119
APÊNDICE C.....	122

APÊNDICE D	124
APÊNDICE E	124
APÊNDICE F	127
ANEXO A	130

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
Ag	Prata
Au	Ouro
Bi	Bismuto
CI	Circuito Integrado
Co	Cobalto
CO ₂	Dióxido de Carbono
CRT	Cathode Ray Tubes
Cu	Cobre
EEE	Equipamentos Elétricos e Eletrônicos
EMPA	Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research
g	grama
HD	Hard Disk
IES	Instituições de Ensino Superior
ISO	International Organization for Standardization
Kg	Kilograma
LCD	Liquid Chrystal Display
mg	miligrama
mm	milímetro
Ni	Níquel
Pb	Chumbo
PC	Personal Computer
PCI	Placa de Circuito Impresso
Pd	Paládio
PFC	Perfluorcarboneto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNUMA	Programa das Nações Unidas do Meio Ambiente
Pt	Platina
Rh	Ródio
Ru	Rutênio
Sb	Antimônio
Se	Selênio
Sn	Estanho
SO ₂	Dióxido de Enxofre
Te	Telúrio
TIC	Tecnologia de Informação e Comunicação
TI	Tecnologia de Informação
TVs	Televisores
UE	União Européia

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Rotas do e-lixo – Caminhos comprovados revelam migração do e-lixo.	23
Figura 2: Guia da Greenpeace: fabricantes mais verdes.....	26
Figura 3: Ciclo de vida ambiental do produto - Fluxo Geral do Berço ao Berço.....	32
Figura 4: Placa de Circuito Impresso de um PC.....	63
Figura 5: Elementos componentes em um telefone celular.....	69
Figura 6: Cadeia de reciclagem.	70
Figura 7: Desmontagem manual dos discos rígidos.	76
Figura 8: Resíduos de EEE descartados a céu aberto.....	81
Figura 9: Exemplo de ciclo de vida de um produto.....	83
Figura 10: Fotos de e-lixo espalhados pelas salas de algumas IES.....	87
Figura 11: Fotos de salas onde se armazenam PCs e periféricos em algumas IES.	88
Figura 12: Fotos do Micródomo no IFF – Campus Guarus	89
Figura 13: Fotos dos Laboratórios de Eletrônica no IFF – Campus Guarus.	89
Figura 14: Material coletado, a preparação para triagem dos periféricos	90
Figura 15: Nós da cadeia de suprimento pós-consumo para PCs <i>desktop</i>	97
Figura 16: Fluxograma das operações no Centro de Armazenagem e Triagem.....	103
Figura 17: <i>Stand</i> da coleta do e-lixo da semana de tecnologia no IFF.....	122
Figura 18: Alguns dos materiais recebidos no <i>stand</i> da coleta do e-lixo	122
Figura 19: Esboço da planta do galpão.....	124

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Descrição das fases do ciclo de vida de um PC.....	38
Quadro 2: Principais impactos na ACV encontrados nos exemplos	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Evolução do consumo aparente do segmento de equipamentos de informática	16
Gráfico 2: Quantidades de PC colocados no mercado em kg/pessoa/ano.....	28
Gráfico 3: Quantidades de e-lixo gerados de PCs em kg/pessoa/ano.....	29
Gráfico 4: Potencial de aquecimento global (GWP)	42
Gráfico 5: Uso de água na ACV	43
Gráfico 6: Critérios de impactos sobre a saúde humana	43
Gráfico 7: Efeitos não oncológicos na saúde humana.....	44
Gráfico 8: Impactos cancerígenos nos humanos	45
Gráfico 9: O regime orçamentário das IES. Esfera da Instituição.....	85
Gráfico 10: Quantidade de Laboratórios de Informática em cada IES.....	86
Gráfico 11: A utilização compartilhada dos laboratórios de Informática.	86
Gráfico 12: Local para armazenamento do e-lixo.	87
Gráfico 13: Tempo em que as IES fazem a substituição de CPUs.....	88
Gráfico 14: Aproveitamento de peças de EEE em desuso.	89
Gráfico 15: Destino do material eletrônico em desuso nas IES.	90
Gráfico 16: Existência de um setor para gestão do e-lixo.	91
Gráfico 17: Disponibilidade de doação do e-lixo.....	92
Gráfico 18: Fatores que dificultam a gestão do e-lixo pelas IES	92
Gráfico 19: Existência de um setor para gestão do e-lixo.	93
Gráfico 20: Notas atribuídas para a questão de contratos de compras	93
Gráfico 21: Notas atribuídas na questão de compras	94
Gráfico 22: Notas atribuídas na questão de compras de equipamentos eletrônicos.....	94
Gráfico 23: Notas atribuídas na questão de criação de um setor responsável.....	95
Gráfico 24: Notas atribuídas na questão de inclusão de palestras.....	95
Gráfico 25: Notas atribuídas na questão de inclusão de disciplinas.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Evolução do número (em milhares) de PCs	15
Tabela 2: Peso estimado e expectativa de tempo de vida útil de alguns dos EEE.	27
Tabela 3: Quantidade de EEE colocados no mercado em toneladas/ano.	27
Tabela 4: Quantidade de e-lixo gerados em toneladas/ano.	28
Tabela 5: Composição de um monitor CRT.....	37
Tabela 6: Composição física de um PC em relação à massa total.....	47
Tabela 7: Composição física de um PC e índice de materiais recicláveis.....	47
Tabela 8: Composição química das PCIs. Concentração (% em peso).	64
Tabela 9: Totais de pesos de EEE em desuso coletados.....	123

RESUMO

As Instituições de Ensino Superior (IES) tem por missão a formação de profissionais com um conjunto de habilidades, competências e conhecimentos; transmitindo, por sua prática, o exercício da responsabilidade social com relação ao seu entorno geográfico, cultural e social. O presente trabalho se refere à defesa do meio ambiente a partir da divulgação e proposta do gerenciamento sustentável dos seus materiais a serem descartados. Especificamente, trata do caso dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, o e-lixo, composto por dispositivos em desuso, que possuem em sua estrutura interna substâncias poluidoras, crescendo significativamente com o avanço da tecnologia no mundo. Sem alternativas seguras para seu destino final, além de não se ter estimativas confiáveis de seu volume, no Brasil, aumenta a preocupação com os riscos de degradação do meio ambiente. A Lei Federal 12305: Política Nacional de Resíduos Sólidos, sancionada e regulamentada em 2010 tem como uma de suas metas mitigar os impactos negativos para saúde humana e do ecossistema, estabelecendo diretrizes para o descarte do e-lixo, em particular, organizando os caminhos para a recuperação desses materiais. Neste contexto, se apresenta uma revisão bibliográfica de iniciativas de solução para o gerenciamento do e-lixo, onde se identificam claramente o compartilhamento de responsabilidades: dos usuários, dos administradores e das empresas de comercialização e produção. Destaca-se, também, a abordagem da avaliação de ciclo de vida e da logística reversa como ferramentas que ajudam a operacionalizar ações, de modo a obter melhores soluções para o problema. Apresentam-se contribuições para um diagnóstico da situação do e-lixo nas IES na cidade de Campos dos Goytacazes-RJ. A análise dos dados verificou velhas práticas de descarte e acúmulo de e-lixo nestas instituições. Como proposta de solução, sugere-se um centro piloto de armazenagem e triagem que se ocuparia do e-lixo das IES, inspirado nos resultados e experiências, de sucesso, reportados pela literatura, identificando os setores da logística reversa necessários para a cadeia de reuso/reciclagem destes materiais.

Palavras chave: gestão do e-lixo, avaliação de ciclo de vida, logística reversa, reuso/reciclagem.

ABSTRACT

Higher education institutions (HEIs)'s mission is the training of professionals with a set of abilities, skills and knowledge transmitting, by its practice, the social responsibility with respect geographical, cultural and social to its surrounding. The present work refers to the protection of the environment from the disclosure and proposal of sustainable management of their materials to be discarded. Specifically, the case of electrical and electronic equipment waste, the e-waste, composed of devices into disuse, which have on their internal structure polluting substances, growing significantly with the advancement of technology in the world. Without safe alternatives to its final destination, in addition to not having reliable estimates of volume, in Brazil, raises concern about the risks of environmental degradation. Federal law 12305: National solid waste Policy, sanctioned and regulated in 2010 has as one of its goals, mitigate the negative impacts for human health and the ecosystem, setting guidelines for the disposal of e-waste, in particular, organizing the paths for the recovery of these materials. In this context, a literature review of initiatives of solution for the management of e-waste, where identify themselves clearly sharing responsibilities: users, administrators and enterprises marketing and production. Noteworthy, also, the approach of life-cycle assessment and reverse logistics as tools that help operationalize actions, so the best solutions to the problem. Presents contributions to a diagnosis of the situation of e-waste in HEIS in the city of Campos dos Goytacazes (RJ). Analysis of the data verified the old disposition practices and waste accumulation in these institutions. As the proposed solution suggests a pilot centre for storage and sorting that mind e-waste of IES, based on the results and experiences of success reported by literature, identifying sectors of reverse logistics needed for the reuse/recycling of these materials.

Keywords: e-waste management, life cycle assessment, reverse logistics, reuse/recycling.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Nas últimas décadas, a indústria de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (EEE) revolucionou o mundo: os EEE tornaram-se onipresentes na vida cotidiana das cidades no planeta. Sem esses produtos, a vida moderna não seria possível nos países desenvolvidos e nem nos considerados em desenvolvimento. OS EEE estão presentes em áreas como medicina, educação, saúde, comunicação, segurança, indústria, proteção do ambiente, cultura e lazer. Entre tais dispositivos se incluem muitos EEE como geladeiras, máquinas de lavar roupa, telefones móveis, *Personal Computers* (PCs), impressoras, brinquedos, televisores (TVs) e etc.

No relatório do *Laboratory for Sustainable Business*, laboratório do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) *Sloan School of Management* (S-LAB, 2008), sobre o lixo eletrônico da Universidade de São Paulo (USP), se define, como objeto de pesquisa, que resíduos de EEE, ou e-lixo, incluem PCs, monitores, teclados, scanners, máquinas de fax, cabos e telefones celulares — essencialmente tudo digital que não está mais em uso. Esta definição é adotada no presente trabalho que objetiva avaliar o e-lixo de Tecnologia de Informação (TI), por possuir um grande número de EEE, das IES de Campos dos Goytacazes-RJ. Segundo Furukawa (2010), pela diretiva europeia RoHS (Restriction of Certain Hazardous Substances) sobre gestão de resíduos de EEE, os equipamentos citados formam a categoria 3. Todas as categorias de EEE estão elencadas no anexo A. Em particular, o foco desta dissertação são os PCs *desktop*, modelo de computador geralmente usado em mesas de trabalho. Este material apresenta um desafio para sua eliminação no final de sua vida útil, diminuindo os riscos de poluição e à saúde humana. Estes produtos contêm, em sua estrutura física, metais valiosos, por exemplo, ouro e prata; e substâncias perigosas como chumbo, mercúrio, arsênio, berílio e cádmio que prejudicam a saúde humana e o meio ambiente.

A seguir, se fornecem algumas informações agravantes que impulsionam a presente pesquisa:

- De 20 a 50 milhões de toneladas de e-lixo são descartados em todo o mundo, a cada ano (S-LAB, 2008);
- Há previsão, nos Estados Unidos da América (EUA), de 30 a 40 milhões de PCs precisariam ser reciclados nos anos 2009-2010, pela obsolescência dos EEE (S-LAB, 2008);

- Nos EUA o e-lixo representa 2% do lixo sólido em aterros, além de ter sido identificado que significa 70% dos resíduos tóxicos, portanto não é um lixo inócuo (S-LAB, 2008);
- Nos EUA, 80% do e-lixo é exportado para países em desenvolvimento para sua reciclagem em condições não regulamentadas, sem alguma responsabilidade ambiental e social (S-LAB, 2008);
- Foi estimado que a partir do 2003 se tornam obsoletos 5.47 milhões de PCs na China; além de 5 milhões de TVs, 4 milhões de geladeiras e 6 milhões de máquinas de lavar (EMPA.CH, 2010);
- Na USP, o CCE (Centro de Computação Eletrônica) tinha 40000 PCs cadastrados, em uso em 2008, e estimou-se que 10% deles são deixados fora de serviço, todos os anos (S-LAB, 2008);
- A política de inclusão digital dos países latino-americanos, tais como: Colômbia e Brasil gerará aumento do e-lixo (UCA, 2011), (MEC, 2011), ((MARTHALER, 2008) apud (Relatório das Nações Unidas *Solving the E-waste Problem StEP*, 2009));
- O *Internacional Data Corporation* (IDC) afirma que as vendas de PCs no Brasil em 2010 aumentaram em 23,5% em relação ao ano de 2009. Com isto o país passa a ocupar a quarta posição no ranking mundial dos países que mais vendem PCs (IDCBRASIL, 2011).

Os dados citados acima mostram que o crescimento do e-lixo é um fato que deve ser abordado com a visão social, econômica e ambiental.

É fato que o desenvolvimento tecnológico trouxe muitas vantagens para humanidade. E pela inovação, a cada dia, adquirir um EEE se torna mais barato. Mas, o que fazer quando esses equipamentos deixam de funcionar ou se tornam obsoletos? A resposta para esta pergunta é um dos motivadores deste trabalho.

1.2 Visão geral do problema de pesquisa

Neste trabalho, o foco são os resíduos de TI, porém a maioria das informações que o sustentam estão relacionadas à PCs *desktop*, que apresentam grande preocupação no final de sua vida útil, tanto pelo número de substâncias perigosas, em cada unidade, como pelo aumento do descarte estimulado pela quantidade de PCs vendidos mostrada na Tabela 1. A tendência de crescimento de vendas de equipamentos de informática é verificada pelas vantagens que elas representam no aumento da eficiência nos serviços cotidianos e porque

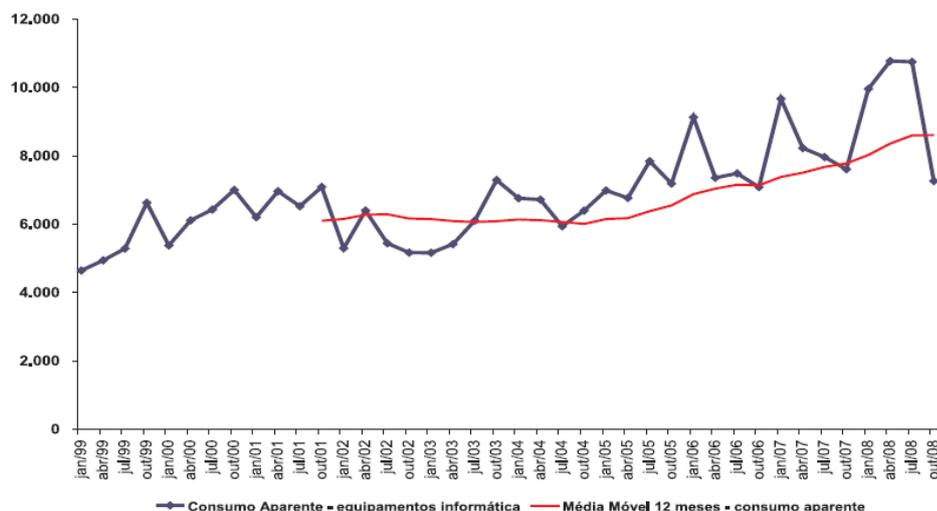
muitos deles estão mudando para o auto-serviço, como no caso dos bancos, das bibliotecas, do transporte coletivo e etc. Conforme apresenta a Tabela 1, as vendas de PCs, no Brasil, praticamente triplicaram entre os anos de 2004 e 2008.

Tabela 1: Evolução do número (em milhares) de PCs no Brasil: total, *desktops* e *notebooks*. Fonte: (ABINEE, 2010)

Ano	<i>Desktops</i>	<i>Notebooks</i>	Total
2004	3880	194	4074
2005	5322	313	5635
2006	7550	675	8225
2007	8071	1912	9983
2008	7700	4300	12000

Na Tabela 1 se observa um crescimento de vendas de PCs *desktops* e verifica-se, igualmente, um forte aumento de vendas de PCs portáteis (*notebooks* ou *laptops*), o que indica que o preço destes está, cada vez, mais acessível. Como a demanda neste mercado é bastante sensível ao preço, verificou-se expansão do consumo aparente (soma das receitas da produção e das importações menos das exportações), ilustrado no Gráfico 1, onde se mostra que ela cresceu, considerando valores em reais (R\$) referenciados ao preço de 2008, em média, entre Janeiro de 1999 e Outubro de 2008 (ABINEE, 2010).

Gráfico 1: Evolução do consumo aparente do segmento de equipamentos de informática (R\$ milhões a preços de 2008). Fonte: (ABINEE, 2010)



Com o aumento das vendas destes equipamentos, deve haver a preocupação por ações que reduzam ou eliminem a poluição quando os mesmos chegarem ao final de vida útil. Ou seja, deve-se aumentar a prática de ações de prevenção para dar um tratamento adequado a estes produtos descartados.

Leite (2003) cita que a sociedade, em todas as partes do globo terrestre, está se preocupando cada vez mais com os diversos aspectos do equilíbrio ecológico, focando a criação de cadeias de retorno e dando uma destinação adequada para produtos que não foram usados, ou com pouco uso, como os já usados.

O e-lixo é um problema em expansão e é uma oportunidade para Instituições de Ensino Superior (IES) desenvolverem projetos de pesquisa, programas de estudo e ações diretas de gestão que levarão a reduzir a sua pegada ambiental (estimativa dos recursos naturais usados para garantir vida e serviços) e multiplicar seus efeitos na comunidade onde estão inseridas, através dos alunos, funcionários e professores. As IES, muitas vezes consideradas como Torres de Marfim, poderão formular programas de responsabilidade social e ambiental envolvendo toda a comunidade universitária, colocando em prática diretivas que levarão para uma formação mais crítica dos cidadãos; o que conduzirá a abraçar, conscientemente ações ambientalmente sustentáveis e exigirá a mesma atuação das corporações fornecedoras, das indústrias e dos consumidores nas regiões onde se desenvolvem. Por estas razões, algumas IES estão mudando no sentido de implementar maior controle e fiscalização sobre seus resíduos, em particular do seu e-lixo, observando como é coletado e tratado, buscando garantias de uma reciclagem correta.

A presença das IES na pesquisa por soluções sustentáveis para o e-lixo deve ser vista de forma holística, já que a TI tornou-se um agente passivo do aquecimento global. Com os avanços tecnológicos as organizações chegaram a um nível altíssimo de produção e esse aumento da produção, acarreta a escassez de matérias-primas não renováveis, o que afetará a qualidade de vida das futuras gerações.

Na linha de ações ambientalmente corretas em relação aos equipamentos de TI, tanto da classe dos usuários quanto das indústrias manufatureiras, destes equipamentos, aparece o conceito de TI Verde. De acordo com Soares (2010), a TI Verde prega o uso de tecnologias politicamente corretas, que sejam ecológicas e consumam menos energia para diminuir a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) lançadas no ar, durante a produção e utilização dos mesmos. Contudo ainda não existe na literatura um conceito pronto para TI Verde. A prática, deste conceito, incentiva também a reciclagem e reutilização dos equipamentos de TI. Isto,

levando em consideração que, na produção de apenas um único PC são usados em torno de 1.8 toneladas de materiais. Por exemplo, para a montagem de um *desktop* com um monitor *cathode ray tube* (CRT) de 17 polegadas são usados 22 quilos de produtos químicos, 240 quilos de combustíveis fósseis e 1500 litros de água (INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2010). Para se mostrar o impacto da produção e utilização de PCs menciona-se, a seguir, o resultado de uma pesquisa, publicada em 2008, da empresa Gartner Group que desenvolve consultoria para indústrias dedicadas a TI, no mundo. Ela revela que a área de TI já é responsável por 2% de todas as emissões de CO₂ na atmosfera. O estudo ainda alerta que, caso nada seja feito, essas emissões tendem a crescer de 5% a 10% ao ano (AKATU, 2010).

1.3 Objetivos do estudo

1.3.1 Os objetivos gerais deste trabalho são:

- Estudar e analisar a situação da gestão do e-lixo nas IES do Brasil;
- Divulgar e adequar alternativas usadas em IES de países desenvolvidos;
- Divulgar o consumo consciente aos usuários de EEE, que abrange decisões de compra, uso e descarte;
- Investigar como as metodologias de logística reversa e Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) são utilizadas para a gestão do e-lixo via exemplos de atividades de recuperação de EEE no mundo.

1.3.2 Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Contribuir para um diagnóstico da situação do e-lixo de TI na cidade de Campos dos Goytacazes - RJ;
- Avaliar a proposta de um centro de armazenagem e triagem de PCs *desktop* para a cidade de Campos dos Goytacazes-RJ visando o reuso, o condicionamento e o encaminhamento para reciclagem de eletrônicos embasados na metodologia da logística reversa e ACV.

1.4 Justificativa do trabalho

Com o iminente aumento do e-lixo, as pesquisas de alternativas para tentar solucionar o problema, particularmente sobre a cadeia de reciclagem com logísticas específicas, são de extrema necessidade para tornar social e economicamente viáveis a continuidade da produção dos EEE.

O relatório StEP (2009) divulgou que nos últimos 5 anos, um PC torna-se obsoleto em no máximo quatro anos, seja por questões de deterioração da parte física ou pelas inovações tecnológicas que levam os usuários a desejarem ter PCs mais modernos, o que é chamado comumente de obsolescência programada. Isto fez aumentar muito a quantidade de equipamentos inutilizados.

A obsolescência programada na aquisição dos PCs é evidenciada pela acelerada atualização dos *softwares* (programas), que exigem, cada vez mais, *hardware* (equipamentos) com maior capacidade de armazenamento e processamento.

McFedries (2010) chama o processo de reciclagem dos EEE de *e-cycling*, e tem sido muito divulgado na imprensa ultimamente. A riqueza interna encontrada em celulares, PCs e outros EEE tem sido chamado de “ouro verde” em razão de que os seus metais preciosos são extraídos usando programas de *e-cycling*; desse modo grande parte dos materiais recuperados são utilizados como matéria-prima para produção de novos EEE, ajudando na preservação dos recursos naturais e constituindo-se em uma ótima oportunidade de negócios.

É relevante citar que ações gerais para o tratamento do reuso, do acondicionamento e da reciclagem não devem ser pensados somente no fim da vida útil de um produto, mas com uma filosofia pró-ativa, podem e devem ser planejadas desde o projeto do equipamento.

O cenário apresentado nas seções anteriores torna evidente a necessidade de administrar os resíduos de EEE pós-consumo; em conseqüência é fundamental conhecer o estado da arte do tratamento e gestão do e-lixo.

Há pouca informação na literatura em relação ao tratamento e gestão do e-lixo em IES. O presente estudo justifica-se, do mesmo modo, pela falta de iniciativas concretas e transparentes na cidade de Campos dos Goytacazes-RJ que evitem impactos negativos da disposição final inadequada do seu e-lixo.

O artigo de Ogunseitan *et al.* (2009) mostra a relevância da divulgação da gestão adequada do e-lixo e afirma que para isto é absolutamente necessária a inclusão nas disciplinas a abordagem do problema de materiais descartados, em particular do e-lixo, não somente nos cursos de graduação ou de formação de futuros profissionais e técnicos, mas também nos demais níveis de ensino. Esta inclusão está em concordância com diretrizes curriculares no que se refere ao item III do artigo 3º do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (SINAIS) que rege a dimensão de responsabilidade social das IES (DOU N° 72, 2010) e com a educação ambiental que deve nortear a formação de todos os cidadãos (MOREIRA, 2001).

1.5 Metodologia de pesquisa

Para a elaboração deste estudo foram pesquisados artigos referenciados no relatório StEP (2009) e artigos científicos publicados, impressos e/ou na internet, sobre as ferramentas Avaliação de Ciclo de Vida e Logística Reversa, utilizadas para formular a proposta para um maior aprofundamento sobre a abordagem e operacionalização do e-lixo no Brasil. Simultaneamente, no presente trabalho foram utilizados dois questionários exploratórios para investigar a situação dos resíduos de EEE nas IES da cidade de Campos dos Goytacazes-RJ.

Para a elaboração dos questionários da pesquisa aplicada, foi empregada a metodologia classificada como pesquisa de campo do tipo participante-observador, segundo Dane (1990).

Dane (1990) definiu pesquisa de campo como um rótulo que pode ser atribuído a uma coleção de métodos de pesquisa que envolve a observação direta de ocorrências de eventos naturais. A pesquisa de campo, do tipo participante-observador, tem como característica que todos os participantes sabem que se trata de um pesquisador e que ele influencia e participa diretamente nas ações do fenômeno.

Da mesma forma, a formulação dos questionários pode ser considerada uma ferramenta que segundo Pádua (1996), é chamada de pesquisa-ação “um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação a uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e nos quais os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos do modo cooperativo ou participativo”.

Esse tipo de pesquisa é mais voltado para o diagnóstico e para a solução científica de problemas geralmente relacionados à prática das organizações (THIOLLENT, 1998). Nele o pesquisador envolve-se diretamente com a organização estudada e com os participantes representativos do problema.

Em relação ao levantamento e manipulação dos dados é possível classificá-la como uma pesquisa qualitativa (SILVA; MENEZES, 2000). Pádua (1996) afirmou que uma pesquisa-ação, geralmente é de natureza qualitativa, por se tratar de uma amostra intencional, em que indivíduos são selecionados a partir de certas características tidas como relevantes pelos pesquisadores e participantes, como foi o caso da pesquisa realizada nesta dissertação, em sua maior parte.

A pesquisa feita no presente trabalho, também, pode ser classificada como exploratória. Segundo Gil (1991), pesquisas deste tipo tratam de um problema sobre o qual o conhecimento

ainda está difuso e têm como propósito central, proporcionar maior aproximação da situação estudada e torná-la mais explícita.

A coleta de dados foi efetuada por meio de entrevistas realizadas com os gestores de TI das IES. Para isso, os questionários continham perguntas abertas e fechadas sobre os principais processos estabelecidos pelas IES em relação ao tratamento do e-lixo.

Portanto, o trabalho empregou o método do estudo de caso, que Yin (2002) o refere como, indicado para pesquisas que analisam um fenômeno contemporâneo em um contexto real. O estudo de caso é particularmente apropriado quando a pergunta de pesquisa concentra-se em “como” e/ou “por que” os fenômenos observados acontecem, quando não há necessidade de controle sobre o comportamento dos eventos, e quando o enfoque estiver em eventos contemporâneos.

Explica-se brevemente, a seguir, a metodologia ou ferramenta de logística reversa. Logística reversa é o processo de planejamento, execução e controle de fluxo eficiente e econômico de matérias-primas, estoque em processo, produtos acabados e informações relacionadas, do ponto de consumo para o ponto de início do processo de produção, para efeitos de recaptura de valor ou eliminação adequada (ROGERS; TIBBEN-LEMBKE, 1998).

As operações típicas de logística reversa, sobre produtos antes de serem consumidos, incluem as atividades de uma empresa que recebe a mercadoria devolvida, pelo produto estar com algum defeito; excesso de estoque; produtos indesejáveis ou desatualizados. Além disso, inclui atividades de coleta dos produtos após o consumo do cliente final. São, também, incluídas as atividades dirigidas ao reuso, remanufatura, reciclagem, e programas para o descarte de materiais perigosos. Esta metodologia será apresentada mais detalhadamente para os EEE, com ênfase em PCs *desktop* pós-consumo na seção 2.4.

Em continuação uma breve descrição da metodologia ou ferramenta ACV. A *Life Cycle Assessment* (2010) define ACV como um conjunto sistemático de procedimentos para reunir e examinar as entradas e saídas de materiais, energia e impactos ambientais atribuíveis diretamente ao funcionamento de um produto (ou serviço). Esta avaliação é efetuada em todas as etapas do sistema de elaboração do produto (ou preparação do serviço), desde a extração dos recursos naturais até o final de sua utilidade (ou liberação do cliente) ou descarte, todas essas etapas conformam o que é conhecido como ciclo de vida do produto (ou serviço). Então, a ACV quantifica os fluxos de energia, de água e de materiais no ciclo de vida do produto constituindo-se um fornecedor de dados importantes para contribuir na

preservação do meio ambiente. Esta ferramenta também será detalhada para a questão de aparelhos de TI, com ênfase em PCs *desktop* pós-consumo na seção 2.4.

1.6 Estrutura do trabalho

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma: no Capítulo 2, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre: a situação do e-lixo no Brasil e no mundo. São apresentadas as metodologias e exemplos que sustentam as propostas de tratamento do e-lixo, tais como: conceitos de ACV, alguns exemplos de pesquisas de ACV relacionadas a um PC *desktop* com monitor CRT; uma tela de *Liquid Chrystal Display* (LCD) e particularmente de Circuitos Integrados (CIs). Também conhecidos como *chips*, os CIs são circuitos eletrônicos miniaturizados e compostos por dispositivos semicondutores como transistores, diodos e outros. O CI é um componente essencial para o funcionamento dos PCs. A ACV de CIs ajuda a visualizar a ACV de PCs; uma abordagem da logística reversa como ferramenta para operacionalizar ações, de modo a obter melhores soluções para o descarte de EEE.

No Capítulo 3, apresentam-se e avaliam-se os resultados das entrevistas aos gestores de TI das IES na cidade de Campos dos Goytacazes-RJ. O estudo de caso contribuirá para um primeiro diagnóstico da situação do e-lixo nas IES da região.

O Capítulo 4 contém uma proposta de solução do problema do e-lixo. Sugere-se, a princípio, um centro piloto de armazenagem e triagem que se ocupará do tratamento inicial do e-lixo das IES da cidade, inspirado nos resultados das experiências de sucesso reportadas pela literatura. As considerações finais e conclusões se encontram no Capítulo 5.

CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

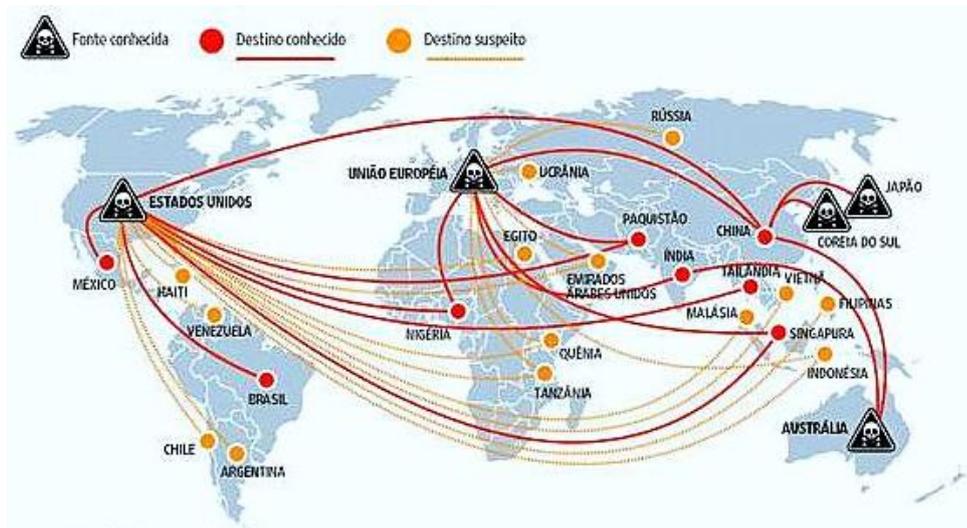
Neste capítulo faz-se uma revisão bibliográfica sobre a situação do e-lixo no mundo e especificamente no Brasil; apresentam-se também os principais conceitos das ferramentas ACV e logística reversa, pois ajudam a definir ações que atenuam os impactos negativos que o e-lixo causa.

2.1 Situação do e-lixo no Mundo

O relatório S-lab (2008), destacou que no mundo inteiro a situação do e-lixo é preocupante. Ao mesmo tempo no relatório StEP (2009) se mapeou a situação do e-lixo até o ano de 2008, mostrando iniciativas e propostas de ações para o tratamento preventivo do e-lixo de forma a mitigar os efeitos do seu aumento.

A Figura 1 extraída da Silicon Valley Toxics (2010) confirma o relatado pelo S-lab (2008), que grande parte do e-lixo dos Estados Unidos é encaminhado para a China, Índia, Paquistão ou África Ocidental. O relatório descreve que o e-lixo é enviado sem nenhuma preocupação com a sustentabilidade ambiental e social.

Figura 1: Rotas do e-lixo – Caminhos comprovados e suspeitos revelam migração do e-lixo. Fonte: (SILICON VALLEY TOXICS, 2010)



Nestes países considerados em desenvolvimento, as empresas de “reciclagem” podem criar um desastre ecológico maior devido aos metais pesados e outras substâncias químicas tóxicas que podem contaminar o solo e as águas subterrâneas, causando problemas de saúde em curto prazo aos cidadãos destas localidades. Porém, como todo rio deságua no mar, os efeitos poluentes, a longo prazo, sairão das fronteiras destas nações.

No ano de 2008, segundo S-lab (2008), o senado dos Estados Unidos iniciou avaliações de pesquisas e ações para desenvolver meios de reciclagem do e-lixo. A Academia Nacional de Ciências dos EUA investigou também as barreiras e formas de diminuir o e-lixo, reduzindo o uso de substâncias tóxicas nos EEE e incentivando o desenvolvimento de projetos de produto que possam ser reusados e/ou reciclados de forma mais fácil, denominado por Prates (1998) um produto verde, isto é, um produto não agressivo ao meio ambiente. Uma das propostas para ajudar na fabricação ambientalmente sustentável de EEE, mencionada em Ogunseitan *et al.* (2009), seria que o Instituto Nacional de Tecnologias e Padrões (INTP) estabeleça um banco de dados com as propriedades físicas de alternativas “verdes” para a produção de EEE. Segundo Ogunseitan *et al.* (2009), a ausência de políticas de regulamentação para o descarte de EEE contribui para o impacto negativo no meio ambiente e na saúde pública. Destacou que os Estados Unidos é o país de maior produção de e-lixo do mundo e que não havia, até 2009, uma política que obrigasse a reciclagem correta de tais produtos ou da eliminação de substâncias perigosas que eles possuem.

A seguir se elenca uma relação da quantidade de EEE colocados no mercado mundial, em unidades produzidas ou em toneladas, que confirma o aumento do consumo destes equipamentos e prevêem o montante que no futuro será descartado:

- Na União Européia o peso total de aparelhos eletrônicos colocados no mercado, em 2005, foi de mais de 9.3 milhões de toneladas. Dos quais: mais de 44 milhões de aparelhos domésticos, mais de 48 milhões de *desktops* e *laptops*, cerca de 32 milhões de TVs e 776 milhões de lâmpadas ((HUISMAN, 2007) *apud* (StEP, 2009));
- Nos Estados Unidos da América, em 2006, mais de 34 milhões de monitores e TVs foram colocados no mercado, mais de 24 milhões de PCs e cerca de 139 milhões de dispositivos de comunicação portátil, como telefones celulares e *paggers* foram fabricados ((CEA, 2008) *apud* (StEP, 2009));
- Na China, segundo He *et al.* (2006), aproximadamente 14 milhões de PCs foram vendidos em 2005, bem como mais de 48 milhões de TVs, quase 20 milhões de geladeiras e 7.5 milhões condicionadores de ar em 2001;
- Estimativas da Universidade das Nações Unidas indicam que atualmente o montante de lixo eletrônico resultante, entre os vinte e sete membros da União Européia somam cerca de 8.3 a 9.1 milhões de toneladas por ano. No mundo inteiro são estimados em cerca de 40 milhões de toneladas por ano ((HUISMAN, 2007) *apud* (StEP, 2009)).

Há também preocupação nos relatórios sobre a situação do e-lixo na China, Nigéria, Paquistão e Gana ((PUCKETT, 2002); (PUCKETT, 2005); (BRIDGEN, 2008); (KUPER; HOJSIK, 2008) *apud* (StEP, 2009)), além de estimativas iniciais da situação em muitas nações da África e da América Latina.

StEP (2009) menciona ainda, que há necessidade urgente de transferir e instalar tecnologias adequadas e inovadoras em todo o mundo industrializado para amenizar os efeitos negativos do e-lixo, assunto tratado na seção 2.4.

Pelos fatos expostos, existe a preocupação no tratamento adequado do e-lixo, situação que incentiva pesquisas técnicas visando à eliminação de materiais perigosos na produção dos EEE e a diminuição de consumo de energia e água nos processos de fabricação. Simultaneamente a divulgação das práticas produtivas seguindo o padrão *International Organization for Standardization* (ISO) 14001 (Gestão Ambiental), ISO 26001 (Responsabilidade Social) e selo verde, torna-se fator de competitividade para as corporações. A comissão européia em 2007 começou com um programa denominado *Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemical Substances* (REACH), que responsabiliza os fabricantes dos riscos das substâncias perigosas em seus produtos (OGUNSEITAN *et al.*, 2009).

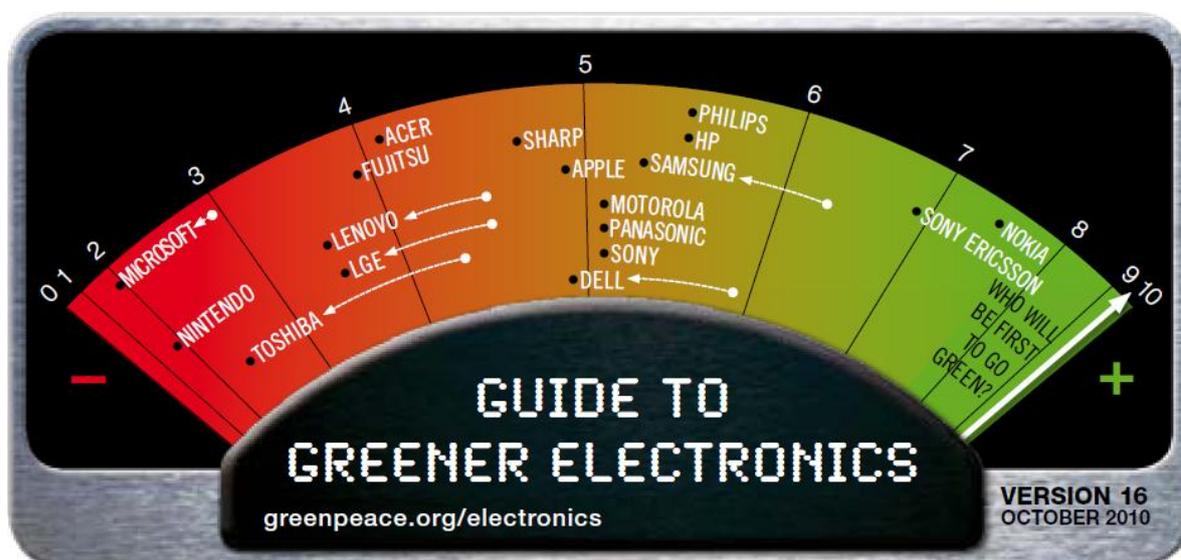
Na Suíça, segundo ISN (2010), se estabeleceu um dos melhores sistemas de gestão de e-lixo do mundo nas últimas duas décadas. Um quadro jurídico específico para o gerenciamento de lixo eletrônico foi introduzido em 1998, quando a *Ordinance on the Return, the taking back and the Disposal of Electrical and Electronic Equipment* (ORDEE) entrou em vigor. No entanto, as primeiras tentativas foram voluntárias partindo da iniciativa de indústrias privadas. O avanço da Suíça em relação a outros países vizinhos levou a Secretaria de Estado de Assuntos Econômicos, em 2003, a lançar um programa multidisciplinar de pesquisa do lixo eletrônico, implementado pelo Laboratório Federal da Suíça (EMPA: *Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research*). Em estreita cooperação com as partes interessadas da indústria, governo e ONGs, o programa apóia o estabelecimento de sistemas de gestão de lixo eletrônico em muitos países ao redor do mundo.

2.1.1 Fabricantes de hardware de PCs

De acordo com S-lab (2008) os fabricantes de PCs pesquisados seguem estritamente as leis locais de e-lixo nos seus países, mas nos países em desenvolvimento onde o regulamento de e-lixo não está em lugar de destaque ainda, eles, simplesmente, adaptaram essas regras de

forma menos rigorosa, tendo assim diferentes políticas em todo o mundo. Portanto, onde a legislação de e-lixo é mais avançada, as empresas concorrem no sentido de uma política de gestão mais agressiva, enquanto nas regiões com leis menos rigorosas seguem as regras mínimas necessárias e por vezes tentam evitar e/ou adiar novas regulamentações neste âmbito. Com o objetivo de identificar, divulgar e conscientizar aos consumidores sobre o grau de tratamento ambiental os principais fabricantes de PCs dão aos seus produtos, a Greenpeace mantém em seu site na web uma figura, sempre atualizada, mostrando o desempenho destas empresas na produção dos seus equipamentos. A classificação mostrada na Figura 2 coloca os fabricantes que mais agem a favor da sustentabilidade do lado mais verde da arte e os fabricantes menos preocupados com ações ambientais do lado mais vermelho.

Figura 2: Guia da Greenpeace: fabricantes mais verdes. Fonte: (Greenpeace, 2010)



Os critérios da Greenpeace baseiam-se em duas métricas principais: a primeira mede como as empresas “limpam” seus produtos através da eliminação de substâncias perigosas e a segunda mede as políticas de "retomar" e reciclar produtos depois que eles se tornam obsoletos.

S-lab (2008) cita que os fornecedores podem inovar no desenvolvimento de um EEE, diminuindo os principais materiais poluentes ou componentes de difícil reciclagem, tornando-os mais “verdes”.

2.1.2 Volumes de e-lixo em alguns países em desenvolvimento

O relatório de StEP (2009) divulgou estimativas feitas com base em avaliações de e-lixo existentes. Algumas destas estimativas tiveram de ser extrapoladas com base em dados da literatura e/ou por comparação com os países onde as tendências relevantes são conhecidas. Pela falta de dados e/ou baixa confiança nas quantidades de e-lixo gerados, seus volumes

foram calculados aplicando estimativas de tempo de vida médio com quantidades reais nos respectivos mercados. As expectativas de tempo de vida médio e seus pesos médios estimados são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Peso estimado e expectativa de tempo de vida útil de alguns dos EEE. Fonte: (StEP, 2009)

Equipamento	Tempo de vida (anos)	Peso (Kg)
PC+Monitor	5-8	25
Laptop	5-8	5
Impressora	5	8
Celular	4	0.1
TV	8	30

O grupo de produtos PC+Monitor refere-se a um PC *desktop* e a um monitor CRT.

A Tabela 3 mostra as quantidades de EEE colocadas no mercado de 11 países diferentes, que foram selecionados pelo relatório de StEP (2009) de acordo com avaliações disponíveis de cada país. Alguns dos países que nunca foram avaliados não possuíam dados sobre o seu e-lixo; então as estimativas foram conduzidas por aproximação. As quantidades indicadas na tabela incluem produtos novos, doações e bens de segunda mão. A maioria predominantemente de estudos existentes é sobre PCs; apenas a avaliação da África do Sul abrange todos os grupos dos produtos considerados. Para o Brasil, os dados de vendas não estavam disponíveis. Com exceção dos dados dos telefones móveis no Senegal (marcados em cinza), que são baseados em estimativas próprias ou extrapolação, todos os números resultam de dados provenientes de estudos existentes.

Tabela 3: Quantidade de EEE colocados no mercado em toneladas/ano. Fonte (StEP, 2009)

Países	África do Sul	Quênia	Uganda	Marrocos	Senegal	Peru	Colômbia	México	Brasil	Índia	China
Data	2007	2007	2007	2007	2007	2006	2006	2003		2007	2007
PCs	32000	5200	700	15100	1100	7000	13600	63700		140800	419100
Impressoras	6800				140					12000	
Celulares	1900	150		1700	4200					9300	15000
TVs	35800			16800				224100		450000	1170000

A Tabela 4 lista as quantidades de e-lixo gerados a partir dos grupos de produtos diferentes.

Tabela 4: Quantidade de e-lixo gerados em toneladas/ano. Fonte (StEP, 2009)

Países	África do Sul	Quênia	Uganda	Marrocos	Senegal	Peru	Colômbia	México	Brasil	Índia	China
Data	2007	2007	2007	2007	2007	2006	2006	2006	2005	2007	2007
PCs	19400	2500	1300	13500	900	6000	6500	47500	96800	56300	300000
Impressoras	4300	500	250	2700	180	1200	1300	9500	17200	4700	60000
Celulares	850	150	40	1700	100	220	1200	1100	2200	1700	7000
TVs	23700	2800	1900	15100	1900	11500	18300	166500	137000	275000	1350000

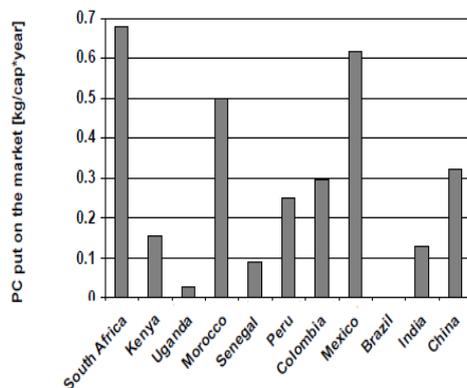
2.1.3 PCs em desuso em alguns países em desenvolvimento

De acordo com StEP (2009) os dados de quantidades colocadas no mercado e e-lixo gerados estavam disponíveis para todos os países selecionados, com exceção do Brasil. Os dados de vendas de um determinado país muitas vezes são derivados de estatísticas de importação. A geração de e-lixo em parte foi calculada aplicando estimativas de tempo de vida médio com últimas quantidades colocadas no mercado.

O Gráfico 2 mostra as quantidades de PCs colocados no mercado em kg/pessoa/ano. A África do Sul e México, como dois dos países mais desenvolvidos no grupo que foram pesquisados, tem médias em vendas de PC com mais de 0.6 kg/pessoa/ano, seguido por Marrocos (FINLAY; LIECHTI, 2010), (ROMÁN, 2007). De outro lado, na Quênia, Uganda, Senegal e Peru são ainda muito poucos PCs vendidos (WAEMA; MURIETHI, 2008), (SCHLUEP, 2008). O Peru, a Colômbia e a China, tem média de 0.3 kg/pessoa/ano (ESPINOZA *et al.*, 2008), (OTT, 2008).

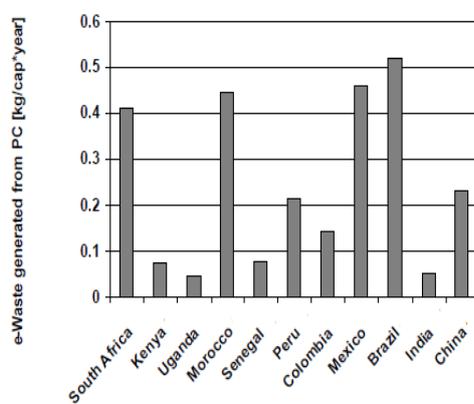
A título de comparação, as vendas de PCs na Europa são em média 1.6 kg/pessoa/ano e em mercados saturados como na Suíça são em média 3.2 kg/pessoa/ano.

Gráfico 2: Quantidades de PC colocados no mercado em kg/pessoa/ano. Fonte: (StEP, 2009)



Comparando-se as quantidades de e-lixo gerados a partir de PCs por habitante e por ano, a imagem geralmente permanece a mesma como mostra o Gráfico 3. A África do Sul, México e Marrocos, com altas taxas de vendas e um grande número de PCs instalados, também geram mais e-lixo. Embora o Brasil, não tenha apresentado dados de vendas disponíveis, estima-se que o país produz a maior quantidade de e-lixo com mais de 0.5 kg/pessoa/ano (StEP, 2009). De acordo com os dados disponíveis, o Peru produz a mesma quantidade de e-lixo de PCs que a China com 0.2 kg/pessoa/ano. O Quênia, Uganda, Senegal, Colômbia e Índia geram quantidades abaixo de 0.15 kg/pessoa/ano.

Gráfico 3: Quantidades de e-lixo gerados de PCs em kg/pessoa/ano. Fonte: (StEP, 2009)



2.2 Situação do e-lixo no Brasil

Informações sobre a situação de e-lixo no Brasil são escassas e não há estudos de avaliação abrangente conhecidos. Segundo StEP (2009) estima-se que no Brasil, se produz a maior quantidade de e-lixo da América Latina com mais de meio quilograma por pessoa por ano.

O relatório StEP (2009) mencionou que o e-lixo não parece ser prioridade para a associação de indústrias federais brasileiras, pois na visão delas, um sistema de gestão sustentável do e-lixo adicionaria mais custos, e o sistema fiscal brasileiro já impõe elevados encargos sobre produtores e consumidores.

A legislação federal no Brasil até o ano de 2010 tinha apenas como relevante a resolução 257 da Comissão Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que impõe limites de algumas substâncias tóxicas usadas para produzir baterias e delega a responsabilidade pela recolha e disposição final adequada aos seus fabricantes (S-LAB, 2008).

O Banco Mundial estimou que houvesse 105 PCs por cada grupo de 1000 pessoas no Brasil em 2005. Neste mesmo ano, a estimativa era de 188 milhões de habitantes no país e havia provavelmente 20 milhões de PCs em uso. Observou-se que os brasileiros usam seus PCs,

sem descartá-los, mais que os americanos, portanto, se partirmos de um ciclo de substituição de 5 anos, o Brasil provavelmente está gerando menos de 4 milhões de PCs fora de uso por ano. Segundo o que se sabia na época da pesquisa, nunca ninguém estudou para onde o e-lixo era destinado. “Ninguém tem se incomodado para medir o e-lixo gerado anualmente no Brasil” confirmou o S-lab (2008).

Em 2010 a situação no Brasil melhora no que diz respeito à sustentabilidade ambiental. Conseguiu-se, por lei, estender a responsabilidade sobre a destinação de resíduos sólidos para todos os geradores, como indústrias, empresas de construção civil, hospitais, portos e aeroportos. Os tipos de resíduos estão classificados no Art. 13º da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) sancionada em 2 de Agosto de 2010 (AMBIENTE BRASIL, 2010). A regulamentação da PNRS, criada pela lei nº 12.305/2010 foi decretada em 23 de Dezembro de 2010.

A lei 12.305/2010 é inovadora por tratar da responsabilidade ambiental compartilhada sobre os resíduos. Estabelece a implantação da coleta seletiva em instituições, incentiva a separação de resíduos nos domicílios e põe em prática o método da logística de retorno de produtos descartados, logística reversa, para a gestão bem sucedida dos resíduos em indústrias e distribuidoras como aparece no Art. 3º inciso XII, Art. 8º inciso III, Art. 19º inciso IV e XV, etc., da PNRS. As indústrias e/ou empresas distribuidoras do produto serão responsáveis por dar a destinação final dos seus bens produzidos assim como também pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado segundo Art. 3º da PNRS (AMBIENTE BRASIL, 2010).

O compartilhamento de responsabilidades quer dizer que cada integrante da cadeia produtiva – fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e até os consumidores – participarão, junto com os titulares dos serviços de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, pelo ciclo de vida integral dos produtos. O ciclo de vida integral de um bem manufaturado (ou um serviço) considera: desde a obtenção das matérias-primas e insumos, passando pelo processo produtivo, o consumo (ou utilização do serviço) até a disposição final (ou liberação do cliente). Por exemplo, o Art. 20º, da lei PNRS, prevê que fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes deverão investir no desenvolvimento, na fabricação e na colocação de produtos no mercado, de modo que possam ser reciclados e cuja fabricação e uso gerem a menor quantidade possível de resíduos sólidos. Segundo a lei, os consumidores ficam obrigados a acondicionar adequadamente e de forma diferenciada os resíduos sólidos gerados, bem como disponibilizar corretamente os materiais reutilizáveis e recicláveis para

coleta e/ou devolução, Art. 28º da PNRS. O Art. 49º da PNRS proíbe também a importação de resíduos sólidos perigosos e de rejeitos, bem como de resíduos sólidos cujas características causem dano ao meio ambiente e à saúde pública, animal e sanidade vegetal, ainda que seja para reutilização ou reciclagem.

É importante destacar que o Ministério do Meio Ambiente e o CEMPRE (Compromisso Empresarial para a Reciclagem) consideraram necessário um inventário do e-lixo produzido no Brasil, o que foi iniciado em parceria, visando que as empresas firmem um pacto de recolhimento do material e reciclagem (INFO ONLINE, 2010).

Independente da legislação aprovada a USP, uma IES pública estadual é precursora no tratamento do e-lixo. Atualmente está em funcionamento na USP um Centro de Triagem que recebe EEE em desuso. O Centro de Descarte e Reuso de Resíduos de Informática (CEDIR), nome deste centro, possui funcionários treinados para verificar se os equipamentos podem ser reutilizados e doados para ONGs; ou desmontados de modo que os materiais possam ser separados, prensados, pesados e enviados para empresas que fazem reciclagem de forma sustentável. A IES conta com parcerias importantes, entre elas a MIT *Sloan School of Management*.

2.3 Avaliação de Ciclo de Vida

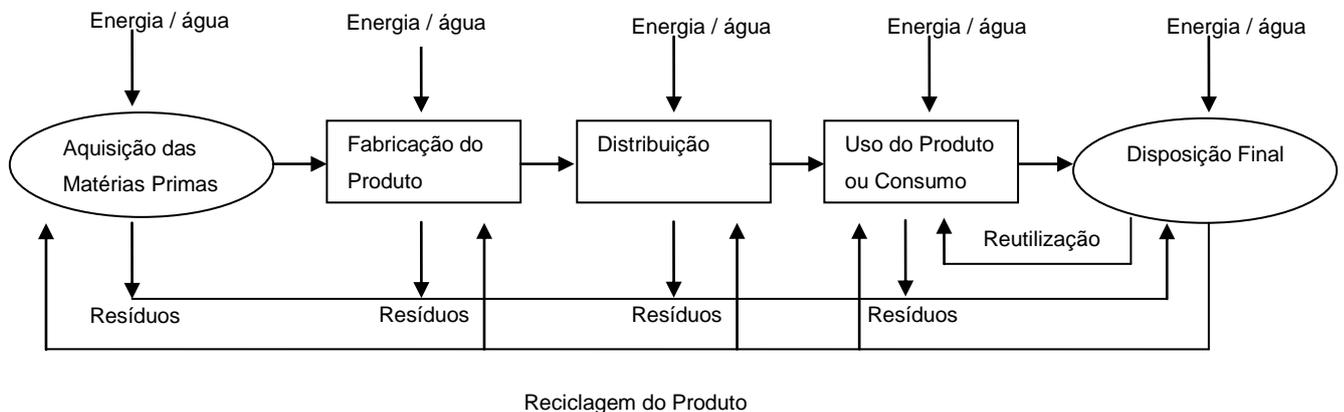
A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que compreende a compilação e avaliação das entradas, das saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema ou processo de fabricação de um produto ao longo do seu ciclo de vida. A ACV de um produto possui várias etapas que serão abordadas, nesta dissertação, direcionadas à obtenção de PCs; e em cada uma das etapas, de modo geral, pode ocorrer consumo de energia e recursos naturais, emissões de poluentes e geração de resíduos, podendo atingir diversos níveis de danos ambientais. Alguns conceitos gerais de ACV que independem do caso, ou um produto ou um serviço, a ser analisado, serão descritos a seguir.

A *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC, 1993) define que, a ACV inclui o ciclo de vida completo do produto, processo ou atividade, ou seja, a extração e o processamento de matérias-primas, a fabricação, o transporte e a distribuição; o uso, o reemprego, a manutenção; a reciclagem, a reutilização e a disposição final. Assim, a abordagem de todo o ciclo de vida de um produto permite a identificação e avaliação das fases críticas, relacionando-as ao processo industrial de um produto ou ao processo de um serviço em foco, e seus impactos ambientais. A Figura 3 mostra, de forma geral, o almejado

fluxo do ciclo de vida de um produto, do berço ao berço, para diminuir os impactos negativos ao meio ambiente.

Figura 3 - Ciclo de vida ambiental do produto - Fluxo Geral de Materiais do Berço ao Berço

Fonte: Adaptado de (Caldeira-Pires, 2006)



Segundo a Associação Brasileira de Ciclo de Vida (ABCV, 2010), a ACV promove uma quebra de paradigma, pois amplia o foco das preocupações ambientais restrito originalmente aos limites de cada organização, para todos os elos da cadeia produtiva no intuito de buscar a sustentabilidade para a sociedade globalizada.

A importância adquirida pela ACV nos contextos da gestão ambiental e da prevenção da poluição fez com que a estrutura metodológica que a constitui acabasse por ser padronizada a nível mundial pela ISO, respectivamente na família 14040 da série ISO 14000 (ROSA, 2009).

A seguir se relacionam algumas normas técnicas dessa família (ROSA, 2009):

- ISO 14040: Princípios e estrutura; aprovada em 1997;
- ISO 14041: Definição de objetivo e análise do inventário; aprovada em 1998;
- ISO 14042: Avaliação de impactos; aprovada em 2000;
- ISO 14043: Interpretação dos resultados; aprovada em 2000.

A ISO 14044 do ano de 2006, juntamente com a 2ª edição da ISO 14040, revoga e substitui a ISO 14040 do ano de 1997, ISO 14041 de 1998, ISO 14042 de 2000 e ISO 14043 de 2000, sobre as quais foram elaborados relatórios de revisão (ROSA, 2009).

Um conceito primário de ACV é que o ciclo de vida pode ser apurado ou levantado dividido em uma coleção de fases. No estudo do ciclo de vida de Hikwama (2005) foram definidas cinco fases: produção de matérias-primas, fabricação, distribuição, utilização e eliminação. O transporte será considerado dentro de cada fase.

1ª fase: Produção de matérias-primas

A extração e refino de matérias-primas, como o petróleo, gás natural, cana de açúcar, ferro e outros metais e minerais estão incluídos aqui; são extrações de matéria-prima para a produção de plástico, vidro, álcool e etc.

2ª fase: Fabricação

É definida por todas as partes dos processos de fabricação de um produto (ou serviço).

3ª fase: Distribuição

Engloba o encaminhamento de um produto (ou serviço) até o mercado consumidor.

4ª fase: Utilização

Avalia o consumidor durante o uso do bem adquirido.

5ª fase: Eliminação

Compreende as formas como os produtos, uma vez utilizados, são descartados.

Observa-se que em todas as fases aparece a necessidade de transporte, em pequenas ou longas distâncias, exceto na 4ª fase, portanto será um item em cada fase.

Nesta dissertação, o foco na avaliação de impactos associados ao meio ambiente (padronizada atualmente pela ISO 14044) é a questão mais relevante, pois é através desta análise nas diferentes fases do ciclo de vida de um produto que se justifica a utilização de outras ferramentas, como a logística reversa, que será utilizada na proposta do centro de armazenagem e triagem para e-lixo na cidade de Campos dos Goytacazes-RJ.

Segundo Chehebe (1998), todo produto, não importa de que material seja feito, madeira, vidro, plástico, metal ou qualquer outro elemento, provoca um impacto no meio ambiente, seja em função de seu processo de produção, na obtenção das matérias-primas que consome ou devido ao seu uso e disposição final.

Para que a ACV produza resultados confiáveis, replicáveis e, acima de tudo, comparáveis, é indispensável que os impactos ambientais associados sejam avaliados através de metodologias e procedimentos sistemáticos padronizados (STANO, 2008). Para avaliar o ciclo de vida de um determinado produto é necessário, por exemplo, obter dados e informações sobre impactos na etapa de produção das matérias-primas (como a energia utilizada), dados estes, normalmente guardados por fornecedores externos. Isso dificultará resultados completos e confiáveis, principalmente porque se necessita da consciência do fornecedor nas médias destes impactos em seus domínios.

A ACV é uma ferramenta abrangente para a avaliação quantitativa de um grande número de variáveis de impactos no ciclo de vida de materiais. A base de uma ACV é o Inventário do Ciclo de Vida (padronizada atualmente pela ISO 14044), uma aferição quantitativa de todas as cargas ambientais, emissões de CO₂, emissão de partículas poluentes, consumo de energia, uso de água e etc., ao longo do ciclo de vida de um produto (M. JOHN *et al.*, 2010).

Para Rodrigues *et al.* (2008), a partir destas colocações, nota-se uma dificuldade importante nos estudos de ACV que é o grande número de dados para análise, pois envolve a manipulação de um grande volume de informações, sendo necessário o uso de ferramentas computacionais para facilitar o trabalho. Vários softwares têm sido desenvolvidos, para atender às diversas necessidades em que a ACV pode ser empregada como ferramenta de aferição de impactos ambientais.

Fazendo a revisão bibliográfica sobre a ACV de PCs *desktop*, constata-se que, este é um equipamento constituído por diversos tipos de materiais e fazer a ACV se torna uma tarefa ainda muito mais complexa. Por exemplo, um PC *desktop* pode utilizar mais de 40 componentes da tabela periódica de elementos químicos. Os fornecedores dos componentes são de diferentes partes do mundo (StEP, 2009). Neste trabalho citam-se detalhes quantitativos da ACV, porém, como a diversidade de configurações e fabricantes é grande e os dados nem sempre estão acessíveis, destaca-se a utilização de informações mais qualitativas ou de valores médios provenientes da União Européia, como solução alternativa à falta de informação específica em cada caso.

Dada a complexidade, acima mencionada, será comentada a seguir, a utilização de *softwares* para ACV como o UMBERTO e o SimaPro que auxiliam na execução do estudo, principalmente na análise do inventário de ciclo de vida, permitindo que o processamento dos dados seja realizado de forma mais rápida, além de garantir cálculos de maior confiança, originando relatórios finais de consistência. O uso destes aplicativos facilitaria o gerenciamento dos dados envolvidos no estudo, pois disponibilizaria bancos de dados, o que minimizaria o tempo com relação à coleta dos mesmos.

O SimaPro, um dos softwares mais utilizados para ACV, é uma ferramenta comercial que permite recolher, analisar e monitorar o desempenho ambiental de produtos e serviços. O usuário pode modelar e analisar ciclos de vida complexos de produtos e serviços, de forma sistemática e transparente, de acordo com os princípios da norma ISO 14040. Para iniciar o seu ACV, o SimaPro vem com um inventário na forma de bases de dados de materiais e processos, acoplados com ferramentas de cálculo de impactos, segundo Schischke (2010).

De acordo com Stano (2008) “dois dos maiores problemas que os países em desenvolvimento vêm enfrentando para o incremento da utilização da ferramenta são: falta de pessoal adequadamente capacitado e disponibilidade de bancos de dados contendo informações sobre a ACV de insumos industriais básicos [...]”.

Ferreira (2004) afirma que desde que foi introduzido em 1990, o aplicativo SimaPro tem sido um dos mais utilizados para análise ambiental dos produtos com vista a uma tomada de decisão no desenvolvimento de produtos e política de produto. Deve-se também ressaltar a grande desvantagem do Brasil em relação à ausência de um banco de dados nacional, que reflita a situação brasileira e otimize a aplicação da ACV para aqueles que trabalham ou que desejam trabalhar com esta ferramenta.

Com o término da elaboração de um banco de dados brasileiro pressupõe-se que as aplicações da ACV no país aumentem e, desta forma, estimulem a elaboração de *softwares* livres nacionais que possam ser adaptados a cada situação.

2.3.1 Primeiro exemplo: um PC *desktop* com monitor CRT

A metodologia do projeto de Hikwama (2005), desenvolvido na Austrália, envolveu um PC *desktop* que compreende um monitor CRT, gabinete, teclado e mouse, fabricados na Malásia, Ásia. Este foi desmontado e construiu-se um inventário dos seus componentes. Para totalizar o seu peso, as diferentes partes do PC e suas embalagens foram medidas.

Alguns dos aspectos, tais como, geração de resíduos perigosos, consumo de água e energia, ocorrem como resultado de processos de produção, enquanto outros, como a emissão de radiação eletromagnética e consumo de energia, ocorrem durante a fase de utilização dos produtos. Ainda outros, relacionadas com o tratamento de fim de vida útil, ocorrem devido ao teor do produto. Exemplos de resíduos perigosos nesta etapa são os metais tóxicos em componentes do PC.

Para preparar a ACV dos dados de composição do produto, ele foi desmontado em seus componentes: o disco rígido, unidade de disquete, unidade de CD, fonte de alimentação e etc. O peso de cada componente foi medido. Os componentes foram desmontados e pesados e foi contabilizado o número de materiais neles presentes.

A maioria dos dados adicionais de componentes indiretos e/ou intangíveis denominados de plano de fundo, como combustíveis, alumínio, cobre, materiais de embalagem, vidro, emissões, energia elétrica, gestão de resíduos, materiais de produção, transporte e etc., estão

disponíveis em bancos de dados como os do software SimaPro mantido pela Pré Consultant, uma empresa holandesa de consultoria.

A seguir são descritos os componentes do PC *desktop* do trabalho.

O gabinete é o local onde são alocadas as principais PCIs, onde informações são processadas e armazenadas. O gabinete contém a placa-mãe no qual estão montados os circuitos eletrônicos necessários para o funcionamento do PC. Na placa-mãe situa-se o circuito de processador, que é o cérebro do PC, direcionando todos os fluxos de informação entre as diferentes partes do PC. Conectados a placa-mãe também estão diversas PCIs com finalidades diferentes e a memória de trabalho ou RAM (Random Access Memory). A RAM é um local de armazenamento temporário, intimamente ligado ao processador para informações sendo usadas quando o PC está no modo ligado. Quando o PC é desligado a memória RAM é esvaziada. Como a memória RAM é de uso temporário, há dispositivos de armazenamento permanente, como CDs, Discos Rígidos e diversos outros meios de gravação. O disco rígido está permanentemente instalado no gabinete e possui a maior capacidade de armazenamento. Todas estas unidades consistem predominantemente de transistores feitos de materiais semicondutores, principalmente de silício.

O mouse e o teclado são ferramentas para transformar informações externas em um formulário que pode ser armazenado em qualquer uma das unidades de memória dos PCs. Ou seja, eles são dispositivos de entrada. Mouse e teclado basicamente contêm plásticos e alguns circuitos eletrônicos para transferir as informações fornecidas pelo operador do PC.

O inventário dos dados e relatórios da ACV sobre produtos de peças eletrônicas tais como dispositivos semicondutores, resistências, condensadores, transformadores e bobinas, PCIs (Placas de Circuito Impresso) e cabos foram obtidos após desmontar o PC.

Os dados da distribuição foram obtidos, assumindo que o PC foi transportado com destinos e por veículos especificados no estudo de Hikwama (2005) assumindo valores médios.

O consumo de energia elétrica na fase de utilização do PC foi medido considerando a seguinte hipótese, a vida útil do PC foi considerada de 5 anos, sendo operado 8 horas por dia e 240 dias por ano. Desta forma os dados da fase de utilização deste PC foram calculados multiplicando o consumo de energia e o tempo de funcionamento.

Os dados da fase de eliminação foram obtidos supondo-se que 30% dos produtos usados de PCs são reciclados; e que 70% dos produtos usados nesse modelo de PCs são divididos em fragmentos e depositados em aterros.

Os dados de inventário para cada estágio de ciclo de vida, incluindo os dados de composição do produto foram introduzidos no SimaPro e um ciclo de vida do inventário e análise de impacto para o PC *desktop* foi obtido. As categorias de análise de impacto aferidas foram: climáticas (que é muitas vezes chamada de aquecimento global), consumo de recursos (que inclui minérios e combustíveis fósseis), uso da terra, agentes cancerígenos e efeitos respiratórios (orgânicos).

Por outro lado, o monitor é um dispositivo de saída. Isto é onde a informação é apresentada ao operador de forma compreensível. O tipo de monitor avaliado é o CRT. Ele usa a mesma tecnologia de um o televisor tradicional da década de 90, ou seja, cria-se uma imagem em um painel de vidro via uma corrente de elétrons, projetada por campos elétricos e magnéticos numa máscara que fica na tela, chamada comumente de máscara de fósforo.

Segundo Prado *et al.* (2006) tal máscara apesar de ser chamada de fósforo, contém preponderantemente outros elementos químicos como os mostrados na Tabela 5 (HIKWAMA, 2005). A colisão desse fluxo de elétrons por toda a máscara faz com que o fósforo cintile, e dessa forma, emita a luz que formará a imagem.

Tabela 5: Composição de um monitor CRT. Fonte: (HIKWAMA, 2005)

Material	Peso (g)	Peso (%) e partes por milhão (ppm)
Alumínio	48.55	0.33
Cobre	892.15	6.09
Ferro	1324.08	9.04
Vidro	9392.50	64.10
Plástico	2606.62	17.80
Prata	0.16	11 ppm
Ouro	0.01	0.7 ppm
Paládio	0.00	0.33 ppm
Outros	385.22	2.63
Total	14649.29	100.00

Após descrição sucinta do equipamento, o produto é estudado em cada categoria conforme definido no SimaPro, desde a produção direta, transporte, uso e operações de eliminação que compõem o ciclo de vida. O Quadro 1 abaixo descreve resumidamente cada uma das fases do ciclo de vida do PC *desktop* em estudo. As entradas e saídas, bem como a interação entre cada etapa são avaliadas para determinar os impactos ambientais.

Quadro 1: Descrição das fases do ciclo de vida de um PC. Fonte: (HIKWAMA, 2005)

ENTRADAS	FASES DE CICLO DE VIDA	SAÍDAS
Materiais, Energia Recursos	EXTRAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS As atividades relacionadas com a aquisição de recursos naturais, incluindo mineração de material não-renovável, a coleta e transporte de matérias-primas para instalações de fabricação.	Resíduos Produtos
	FABRICAÇÃO DE PRODUTOS Processamento de materiais e montagem de componentes para fazer um PC (ou seja, gabinete, monitor, teclado e mouse).	
	DISTRIBUIÇÃO Encaminhamento do PC do fabricante ao cliente	
	USO DO PRODUTO Os PCs são transportados e usados pelos clientes.	
	ELIMINAÇÃO No final da sua vida útil, ou o PC está obsoleto, ou com problemas de funcionamento. Se a reutilização e reciclagem de peças utilizáveis é viável, o produto pode ser transportado para uma instalação adequada e desmontado. Peças e materiais que não são recuperáveis, em seguida, são transportadas para instalações adequadas e tratadas (se necessário) e/ou eliminadas.	

As fases da ACV de um PC *desktop* basicamente são: produção de matérias-primas, fabricação, distribuição, utilização e eliminação. Transporte será considerado dentro de cada fase.

Produção de matérias-primas

A extração e refino de matérias-primas como o petróleo, gás natural, ferro e outros metais estão incluídos aqui. Assim são extrações de matéria-prima para a produção de, por exemplo, plástico, vidro e etc. As produções de alguns materiais como vidro, fibra de vidro, vidro têxtil, película de cobre e laminados para PCIs também estão incluídas na fase de matérias-primas.

Fabricação

A produção inclui todos os processos de fabricação do PC. Estes são processos de revestimento metálico, moldagem por injeção de plástico; produção de CRT, produção de PCIs, semicondutores, solda, montagem e etc.

Distribuição

O PC estudado foi transportado do fabricante ao cliente passando por vários tipos de veículos e distâncias. No trabalho de HIKWAMA (2005) foram calculados os gastos com o transporte.

Utilização

O consumo de energia do monitor é 104.5 Watts e 39.13 watts para o gabinete, que inclui o consumo de energia do teclado. O PC estudado consome 143.63 watts quando ligado. O tempo de vida do PC é definido como 5 anos. Após 5 anos em um escritório é provável que o usuário do PC queira adquirir um novo PC. Então o PC é jogado fora ou transferido para outro usuário no escritório ou dado ao funcionário e usado em casa. Somente a primeira vida do PC é considerada neste ciclo. Após 5 anos, o PC é descartado. O PC em estudo teve como hipóteses ser usado 8 horas por dia e 240 dias por ano. Sendo consideradas então 9600 horas de uso durante sua vida útil. Por conseguinte, a energia consumida é em torno de 13788 MWh durante a sua utilização.

Eliminação

Hikwama (2005) considerou as formas de eliminação de resíduos domésticos gerais na Austrália para estimar as formas de eliminação de PCs. De acordo com esse cenário, 63% dos PCs são enviados para aterros, 22% são incinerados e 15% para reciclagem. O mesmo padrão foi considerado para a embalagem.

A interpretação dos dados da ACV feita no estudo de HIKWAMA (2005) revela que das categorias de impacto discutidas, o consumo de eletricidade durante a fase de utilização do consumidor é o principal impacto causado por PCs *desktop*. Como tal, a fase de utilização é vista como a que mais contribui para o desempenho ambiental do PC.

É relevante ressaltar que HIKWAMA (2005) considera os seguintes pontos para reduzir o potencial de impacto ambiental do PC:

- Redução do consumo de energia do PC (isso inclui o monitor e a CPU) na fase de utilização;
- O processo de montagem das PCIs e os CIs deve ser melhorado. Isso é possível, reduzindo o número de peças na placa e diminuindo as placas;
- Uso de monitores de LCD de baixa potência;
- Recuperação de materiais e reutilização: isso estende a vida de utilização do PC como a placa-mãe, disco rígido, etc. Depois de atualizar o PC, o mesmo pode ser usado em média por mais 4 anos.

2.3.2 Segundo exemplo: tela de LCD

A tecnologia LCD é bem mais sofisticada que a CRT, pois possui uma melhor resolução de imagem e consome, em média, 50% a 70% menos energia do que a CRT. Ela baseia-se nas propriedades do reflexo da luz através de um conjunto de substâncias de material líquido. Atrás da tela há continuamente uma luz branca que passa por todos os pontos da tela. A imagem é formada quando o cristal líquido contido em cada um dos pontos regula como se fosse uma “cortina”, a intensidade da luz que passa pela tela e que chega até o ambiente que está sendo utilizada (PHYSLINK, 2010). A tela de LCD é usada atualmente para dispositivos pequenos, como displays de celulares, equipamentos de som para carros, monitores de PC, TVs e em diversos outros equipamentos.

Prado *et al.* (2006) cita que a tecnologia de tubos de raios catódicos tem impactos ambientais, tais como emissões de gases poluentes, consumo de energia elétrica e etc., bem maiores em comparação com a tecnologia LCD. Entretanto, as duas tecnologias possuem um impacto elevado na fase de eliminação por serem lixos tóxicos e radioativos.

No descarte, verifica-se que o CRT pode liberar chumbo e fósforo tóxicos para o ambiente e outros metais altamente reativos. O LCD pode liberar óxido de índio e estanho. Na conclusão de Prado *et al.* (2006), as telas de LCD são as que menos possuem substâncias químicas poluidoras e que gastam menos energia elétrica na fase de utilização.

2.3.3 Terceiro exemplo: Circuitos Integrados

Há poucos trabalhos de ACV relativos a PCs *desktop* na literatura. A diversidade de componentes que o formam é muito grande. Há muitas possibilidades de configurações e um número grande de fabricantes. Devido a isto, foi pesquisado nesta dissertação a ACV de CIs, principais componentes encontrados em PCs. Desta forma, conhecendo a ACV de um determinado tipo de CI, poderá se estender como referência para a ACV de PCs e então ter uma medida dos impactos causados por estes equipamentos.

A determinação dos impactos sobre a saúde ambiental incluindo a saúde humana do ciclo de vida de semicondutores é essencial para uma melhor compreensão da função que a TI pode desempenhar na realização da eficiência energética ou metas de redução potencial de aquecimento global. Boyd *et al.* (2010) forneceu uma avaliação do ciclo de vida de CIs popularmente chamados de *chips*, ao longo de sete gerações da tecnologia do CIs, abrangendo desde 1995 até 2010. Indicadores ambientais relatam o potencial deles no aquecimento global,

formação de ozônio troposférico (*smog*), potencial para o câncer humano e os efeitos não oncológicos para a saúde, ecotoxicidade e uso da água.

Embora haja impactos ambientais negativos na manufatura de CIs, o número de fábricas aumentou e os gastos com transporte e cuidados com emissões de gases na fabricação caíram como resultado de mudanças na tecnologia de processo e tamanhos do dispositivo ao longo das gerações (BOYD *et al.*, 2010). A eletricidade, particularmente na fase de utilização e emissões diretas de fabricação são os colaboradores mais importantes nos impactos de ciclo de vida. Apesar de grandes quantidades de água utilizada na fabricação, em todo o ciclo de vida a maior parte da água é consumida na geração de eletricidade para a utilização dos CIs de um PC. Portanto, a redução do consumo de energia na fase de utilização é a forma mais eficaz para limitar o impacto, particularmente para as gerações mais recentes.

Atualmente, o semicondutor de óxido metálico complementar (CMOS), é uma forma de estrutura de transistor mais comum em CIs, usado em produtos eletrônicos. Boyd *et al.* (2010) apresenta uma ACV genérico do CMOS em cada tecnologia de nó ao longo de um período de 15 anos, de 1995, de um nó medindo 350 nanometro (nm) para um nó medindo 45nm (este vai entrar em produção em grande escala em 2010).

Ao apresentar dados de ACV das sete gerações de dispositivos de CIs, diferentes tipos de produtos eletrônicos podem ser modelados. Transistores de 350 nm, produzidos em grande volume em 1995, ainda hoje são usados nos CIs incorporados para alguns aparelhos e brinquedos, enquanto um PC pessoal novo comprado hoje contém CIs com transistores de 65 nm. O termo “tecnologia de nó” de 350 a 45 nm refere-se ao tamanho relativo dos transistores, componentes dos CIs, nas sete gerações mencionadas (BOYD *et al.*, 2010).

Exibindo os resultados da ACV dos CIs, ao longo dos quinze anos de estudo, verifica-se as tendências dos impactos com o descarte incorreto de cada um. O consumo de energia na fase de utilização e a complexidade de fabricação são grandes. As emissões de CO₂ estão também relacionadas com a infra-estrutura das fábricas.

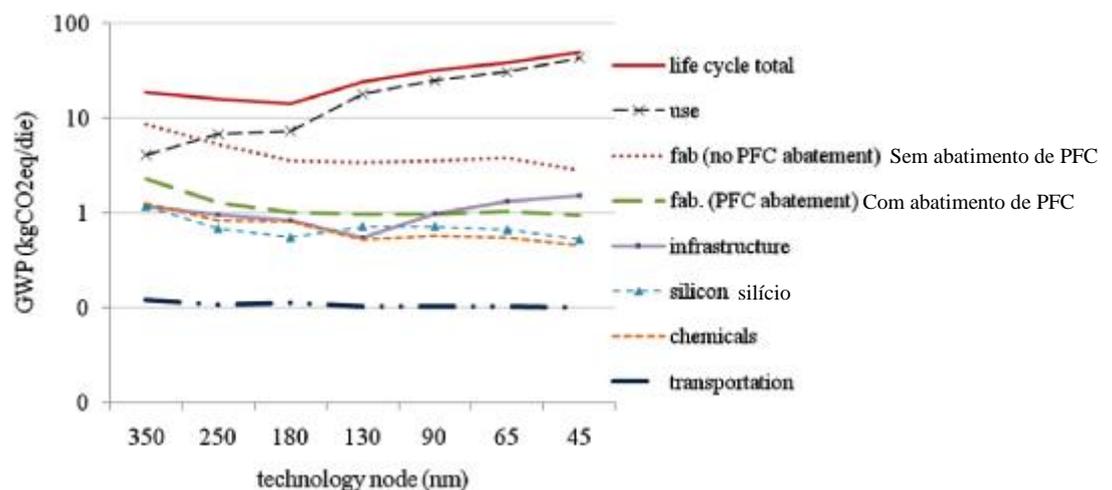
As emissões de gases poluidores, devido à eletricidade consumida na fase de utilização, dominam a maioria das categorias de impacto na ACV dos CIs. A diminuição do consumo de energia na fase de utilização, através de meios técnicos ou operacionais, é uma maneira mais eficaz de limitar os impactos de ciclo de vida de CIs.

Em relação ao potencial de aquecimento global dos CIs Boyd *et al.* (2010) destaca: (Gráfico 4).

- As emissões de gases poluentes por dispositivo descartado em seu fim de vida útil subiram em cada tecnologia de nó;
- O consumo de eletricidade na fase de utilização gera a maioria dos impactos de aquecimento global no ciclo de vida em todos os nós, com uma quota crescente ao longo do tempo. A energia de dispositivo na fase de utilização contribui uma média de 75% em todos os nós e 92% a 45 nm;
- O potencial de aquecimento global de produção de silício, processamento de produtos químicos e instalações na infra-estrutura conta menos de 7% do potencial de aquecimento global no nó 350 nm e representam frações sucessivamente menores nos anos seguintes;

Observação 1: no Gráfico 4, por *fab. (PFC abatement)* se indica o equipamento que executa a diminuição das emissões de PFC (perfluorcarboneto).

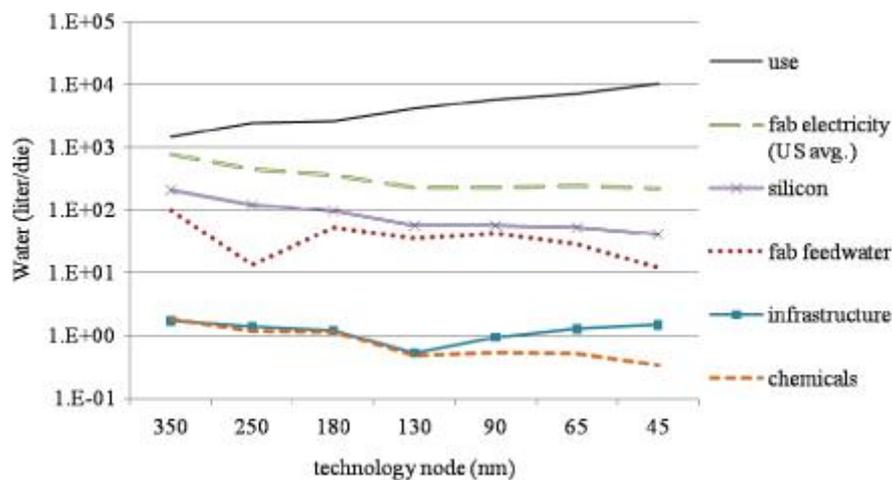
Gráfico 4: Potencial de aquecimento global (GWP) por descarte de dispositivos em cada uma das 7 tecnologias de nó, em unidades de KgCO₂eq/CI. Fonte: (BOYD *et al.*, 2010)



O consumo de água no ciclo de vida é determinado pela produção de eletricidade e o aumento geral no uso da água é impulsionado pela fase de uso conforme ilustrado no Gráfico 5. A água utilizada na fabricação diminuiu significativamente por dispositivo durante o período estudado devido a uma série de alterações no processamento de CIs.

Observação 2: no Gráfico 5, por *fab feedwater* se indica o equipamento que executa o fornecimento e realimentação de água e por *fab electricity* se indica os equipamentos que fornecem energia elétrica.

Gráfico 5: Uso de água na ACV nas 7 categorias de tecnologias de nó, em unidades de litro/CI. Fonte: (BOYD *et al.*, 2010)



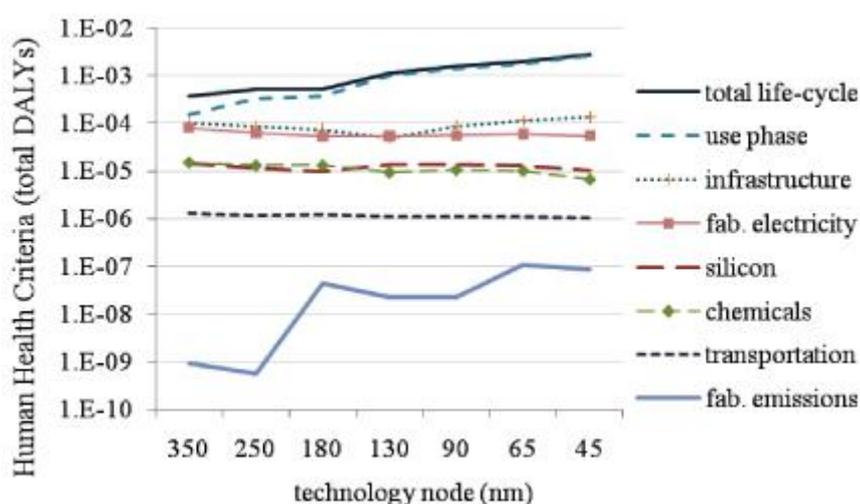
Utilização do solo não está incluída neste estudo porque não havia dados atingíveis sobre a utilização de terras para processos em todo o ciclo de vida.

Durante o período de avaliação de Boyd *et al.* (2005), a fase de utilização é a causa de 77% dos impactos sobre a saúde. As emissões do ciclo de vida tem uma média de 12% dos critérios de impactos sobre a saúde ao longo do período de 15 anos (Gráfico 6).

Observação 3: a unidade DALYs (*disability adjusted life years*) mostradas no Gráfico 6, critério proposto pelo *Environmental Protection Agency* (EPA) do EUA, mede a perda de anos de vida para o ser humano.

Gráfico 6: Critérios de impactos sobre a saúde humana por tecnologias de nó, em unidades de total DALYs.

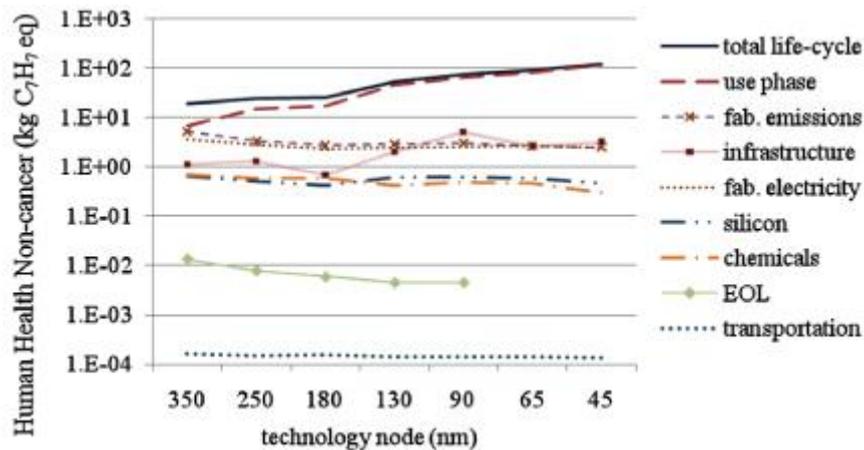
Fonte: (BOYD *et al.*, 2010)



Os efeitos não oncológicos na saúde humana são causados pelo chumbo contido em *chips* produzidos antes de 1996 (nós de 350 até 90 nm), emissões de mercúrio relacionadas com a eletricidade, emissões de chumbo que ocorrem durante a instalação de infra-estrutura, bem como ácido clorídrico liberado na água na fabricação das pastilhas de silício. Com a geração mais recente de tecnologia, 75% dos impactos não oncológicos sobre a saúde humana são causadas pela fase de utilização, através das emissões de mercúrio, 9% foram causados por emissões diretas, 8% por eletricidade na fabricação e 7% foram devido à instalação de infra-estrutura (Gráfico 7).

Observação 4: no Gráfico 7, por *fab. emissions* se indica as emissões dos equipamentos, por EOL (*end of life*) se indica o fim de vida útil de um CI e C_7H_7 representa o gás benzil.

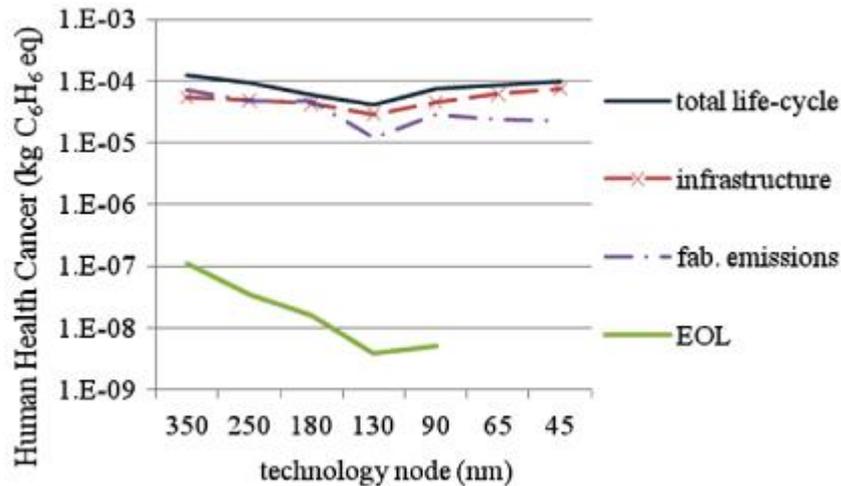
Gráfico 7: Efeitos não oncológicos na saúde humana por tecnologias de nó, em unidades KgC_7H_7eq . Fonte: (BOYD *et al.*, 2010)



Os efeitos cancerígenos na saúde humana resultam do teor de chumbo do *chip* descartado no final da vida útil, bem como chumbo emitido na instalação de infraestrutura e emissões de fabricação. Entre as emissões de fabricação, formaldeído e amoníaco são as maiores causas desses impactos (Gráfico 8).

Observação 5: no Gráfico 8, C_6H_6 representa o gás benzeno.

Gráfico 8: Impactos cancerígenos nos humanos por tecnologia de nó, em unidades de $\text{KgC}_6\text{H}_6\text{eq}$. Fonte: (BOYD *et al.*, 2010)



Uma ACV completa e transparente de CIs até agora tem sido indisponível para pesquisadores de ACV que procuram avaliar os impactos dos dispositivos de sistemas eletrônicos. Esta falta de dados tem limitado a análise de equipamentos de TIC (Tecnologia de Informação e Comunicação). A falta de dados para o inventário de ciclo de vida de produtos químicos de alta pureza e fatores de impactos ambientais para produtos químicos exóticos ou específicos continua sendo uma dificuldade em ACV de CIs.

Após a descrição de alguns exemplos de ACV aplicadas a um PC *desktop* e seu principal componente, o CI, é de grande relevância ressaltar:

- As demandas requeridas pela sociedade incluem melhor desempenho dos equipamentos a menores custos, no setor de TIC pode-se citar a produção de servidores mais rápidos, dispositivos de armazenamento de custo mais baixo e equipamentos de rede mais flexíveis. Os componentes que muitas vezes oferecem melhor desempenho, podem também demandar mais energia, e trazem associado um aumento da concentração de calor, gerando sobrecarga em sistemas de resfriamento, comprometendo também a estabilidade operacional. (Ferreira *et al.*, 2010);
- As empresas do setor de Novas Tecnologias de Informação e Comunicação (NTICs) inovam, e não ficam indiferentes à questão da sustentabilidade, acompanham a tendência de preocupação com o bioma, fomentada pelos eventos ambientais ou ainda pelos relatórios da ONU que colocaram a sociedade em alerta, e fizeram com que as empresas traçassem estratégias para não serem apontadas como co-responsáveis pela destruição do planeta. Nesse crescente movimento de marketing e de inflamados discursos, destacam-se as legítimas iniciativas no sentido de reduzir emissões gasosas

e resíduos tecnológicos, além de reciclar materiais e de utilizar energia de forma eficiente. Tais iniciativas deram origem a TI Verde, que se preocupa com vários aspectos do problema ambiental. (Ferreira *et al.*, 2010);

- O estudo integral do ciclo de vida da produção dos PCs é complexo, pois sua produção está dividida em unidades operacionais em diferentes partes do mundo, sendo necessários estudos sobre os custos ambientais e de saúde humana da instalação, distribuição e reciclagem dos PCs, para se ter uma ACV integral dos equipamentos de TIC.

Pela natureza dos dados envolvidos nas análises de ACV encontradas nos exemplos desta seção, quaisquer tentativas de quantificação de valores relacionados aos impactos das tecnologias se mostraram extremamente complexas. Desta forma, optou-se por uma abordagem principalmente qualitativa, com o objetivo final de simplesmente evidenciar os impactos ao meio ambiente. Considerando o desejo dos usuários em se ter PCs mais modernos, chamado comumente de obsolescência programada, só se apresentam, neste trabalho, os impactos de um modelo de *desktop* (incluindo mouse, teclado e um monitor CRT), de um tipo de Circuito Integrado e de uma tela LCD de forma geral, deixando-se para futuros trabalhos outros periféricos de PCs e tecnologias avançadas, como as telas OLED (*Organic light-emitting diode*) com melhor resolução que as de LCD. O Quadro 2 mostra os impactos em cada etapa da ACV de PCs *desktop* com monitores CRT, telas de LCD e CIs.

Quadro 2: Principais impactos na ACV encontrados nos exemplos de: PCs *desktop* com monitores CRT, telas de LCD e CIs.

ETAPA	IMPACTOS
Extração de matéria-prima	Uso de água Energia Resíduos Esgotamento de recursos
Fabricação	Uso de água Energia Resíduos Emissões de substâncias poluidoras
Distribuição	Energia Resíduos Emissões de substâncias poluidoras e/ou cancerígenas para o homem
Utilização	Energia Emissões de substâncias poluidoras Radiação eletromagnética
Eliminação	Resíduos Emissões de substâncias poluidoras Saúde humana

Para corroborar que o reuso e a reciclagem de materiais utilizados na fabricação de PCs é uma alternativa plausível para diminuição dos impactos nas fases do ciclo de vida, principalmente na fase de eliminação destes equipamentos, a Tabela 6 mostra que 94% destes são recuperáveis e a Tabela 7 mostra a porcentagem de reciclabilidade de alguns minerais componentes de um PC.

Tabela 6: Composição física de um PC em relação à massa total. Fonte: (BIZZO, 2010)

Material	Porcentagem em relação à massa total
Plástico	40%
Metais	37%
Dispositivos Eletrônicos	5%
Borracha	1%
Outros	17%
Materiais recuperáveis	94%

Tabela 7: Composição física de um PC e índice de materiais recicláveis. Fonte: (BIZZO, 2010)

Material	% em relação ao peso total	% reciclável	Localização no equipamento
Alumínio	14.172	80	CI, solda, bateria
Chumbo	6.298	5	Semicondutor
Ferro	20.471	80	Estruturas, encaixes
Estanho	1.007	70	CI
Cobre	6.928	90	Condutivo
Bário	0.031	0	Válvula eletrônica
Níquel	0.850	80	Estruturas, encaixes
Zinco	2.204	60	Bateria
Berílio	0.015	0	Condutivo térmico, conectores
Ouro	0.016	98	Conexão, condutivo
Manganês	0.031	0	Estruturas, encaixes
Prata	0.018	98	Condutivo
Cromo	0.006	0	Decoração, proteção contra corrosão
Cádmio	0.009	0	Bateria, CI, semicondutor, estabilizadores
Mercúrio	0.002	0	Bateria, ligamentos e termostatos
Sílica	24.880	0	Sensores, vidros

Veit (2001) ressalta que o grande desenvolvimento da indústria eletrônica, aliado ao aumento do consumo de bens pela população, gera um número cada vez maior de equipamentos defeituosos e obsoletos, entre eles as PCIs, as quais precisam ser dispostas corretamente. A sucata destas placas representa uma matéria prima interessante, pois contém metais e ligas metálicas, o que torna sua reciclagem bastante atraente. Como linha geral, se assinala que, as PCIs possuem 49% de materiais cerâmicos, vidros e óxidos, 19% de plásticos, 4% de bromo e

28% de metais. A composição real depende da origem do circuito impresso, assim como do tipo e idade do equipamento. As PCIs são compostas de vários metais e ligas metálicas assim como compostos orgânicos e inorgânicos:

- Polímeros: em média 30% em peso, principalmente poliolefinas, poliésteres e policarbonatos;
- Óxidos Refratários: em torno de 30% em peso, onde a sílica é 50%, alumina 20%, óxidos de terras raras 20% e 10% de outros óxidos;
- Metais Base: em torno de 40% do peso total, composto de 50% de cobre, 20% de estanho, 10% de ferro, 5% de níquel, 5% de chumbo, 5% de alumínio e 3% de zinco;
- Metais Preciosos: em torno de 1655 g de prata, 850 g de ouro e 42 g de paládio por tonelada de PCIs.

Todos os exemplos de ACV de PCs e Cis pesquisados nesta dissertação têm como objetivo mostrar que esta metodologia legitima a logística reversa que pode ser usada como uma ferramenta poderosa na diminuição dos impactos durante o ciclo de vida deste equipamento, principalmente na fase de eliminação. No entanto, as atividades de logística reversa podem apresentar cargas negativas se não forem executadas de forma adequada. Estas questões são abordadas no próximo item.

2.3.4 Impactos relevantes na etapa de reciclagem de e-lixo sobre o ambiente

A produção primária (mineração) desempenha o papel mais importante no fornecimento de metais para aplicações de equipamentos elétricos e eletrônicos. Metais de origem secundária (reciclagem) só estão disponíveis em quantidades limitadas até agora. O impacto ambiental da produção de metal primário é significativo, especialmente para os metais preciosos e especiais que são extraídos a partir de minérios em que a concentração de metais preciosos e especiais é baixa. Quantidades consideráveis de terra são usadas para a mineração; águas residuais e dióxido de enxofre (SO₂) são criados; e o consumo de energia e as emissões de CO₂ são grandes (StEP, 2009).

Em um nível mais local, o gerenciamento/reciclagem inadequado de resíduos gera emissões perigosas e significativas, com sérios impactos na saúde e ambiente. Neste contexto, três níveis de emissões tóxicas distinguem-se:

- Emissões primárias: substâncias perigosas que estão contidas no e-lixo (por exemplo, chumbo, mercúrio, arsênio, policlorobifenilos, gases fluorados entre outras);

- Emissões secundárias: produtos de reações perigosas de substâncias e resíduos como resultado de um tratamento inadequado (por exemplo, dioxinas ou furanos formados pela fusão incineração/inadequada de plástico com retardadores de chama halogenados), quando há tratamento inadequado dos resíduos;
- Emissões terciárias: substâncias perigosas ou reagentes usados durante a reciclagem (por exemplo, cianeto ou outros agentes de lixiviação, mercúrio para junção de ouro) e que são liberados devido à manipulação e tratamento inadequados.

Precisa ser entendido que as leis para restringir o uso de substâncias perigosas (por exemplo, da União Europeia, Diretiva 2002/95/CE relativa à restrição do uso de determinadas substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrônicos) abordam as emissões primárias e parcialmente as secundárias (EUROPEAN, 2003). No entanto, mesmo os produtos "mais limpos/mais verdes" não podem impedir emissões terciárias, se forem utilizadas tecnologias de reciclagem inadequadas. Talvez este seja o maior desafio, em particular, nos países em desenvolvimento, onde "reciclagem de quintal" como a incineração a céu aberto, "cozinha" de placas de circuito e etc. trazem efeitos dramáticos na saúde e meio ambiente ((PUCKETT, 2002), (PUCKETT, 2005), (BRIDGEN *et al.*, 2008), (KUPER, 2008) *apud* (StEP, 2009)).

2.4 Logística reversa

Nesta seção se apresenta a metodologia que envolve as operações dirigidas à recuperação de produtos, em particular de computadores, após sua serventia ou após o usuário declarar sem utilidade um produto. Esta metodologia forma parte da logística atual ligada ao final da vida útil e/ou ao retorno de um produto.

A Associação Brasileira de Logística (ASLOG, 2010) define que logística é uma parte da cadeia de abastecimento que planeja, implementa e controla com eficácia o fluxo direto e reverso e a armazenagem dos bens, dos serviços e das informações entre o ponto de origem e o ponto de consumo destes itens, a fim de satisfazer todas as exigências dos consumidores em geral.

A logística reversa apóia especificamente a circulação de mercadorias a partir do consumidor no sentido de um produtor e/ou fornecedor através de um canal de distribuição para a recuperação (MURPHY, 1986).

A logística reversa vincula o gerenciamento dos processos de planejamento, execução, e controle, além de um monitoramento eficaz dos custos do fluxo de: matérias-primas;

inventário de produtos em processo, produtos acabados e informações de materiais relacionados do ponto de consumo para o ponto do fornecedor (a origem) para efeitos de recaptura de valor ou eliminação adequada (ROGERS; TIBBEN-LEMBKE, 1998). Em outras palavras, o foco principal da logística reversa é o equacionamento eficiente e destinação correta com a recaptura de valor dos produtos que retornam, consumidos (seus resíduos) ou não consumidos destes bens (LEITE, 2010).

Atualmente a logística reversa, quando implementada, traz alguns benefícios que Razzolini Filho e Berté (2009) na página 59, relatam:

Podemos afirmar que as organizações líderes são aquelas que não negligenciam as questões relacionadas com a logística reversa e que, com isso apresentam vantagens competitivas sustentáveis em relação a seus componentes.

Esse é um pressuposto que por si só justifica a extrema importância de entendermos o conceito de logística reversa. Contudo são diversas as abordagens que você pode encontrar para explicar de que se trata essa área da logística empresarial. O fato é que ela possibilita às organizações a obtenção de vantagem competitiva, através de seus sistemas logísticos, constituindo-se em prática decorrente de mudanças nos hábitos de consumo dos clientes aliadas a maiores exigências por parte das instituições governamentais, diante das mudanças que ocorrem no meio ambiente.

Programas de logística reversa, além dos diversos benefícios ambientais podem melhorar a imagem corporativa das empresas (CARTER; ELLRAM, 1998). Montadoras de PCs como a HP, Dell e Itautec divulgam em seus sites na web ações com logística reversa que mostram a preocupação com o meio ambiente, confirmando para seus clientes que estão fazendo a sua parte para a sustentabilidade ambiental.

Uma logística reversa então, define uma cadeia de suprimentos que é desenhada para gerenciar o fluxo de produtos ou peças, a partir de seu final clássico, para destiná-los à remanufatura, reciclagem ou disposição final com garantia ambiental ((DOWLATSHAHI, 2000) *apud* (RAVI *et al.*, 2005)).

As operações típicas de logística reversa incluem:

- Planejamento da coleta dos produtos de empresa/lojas ou consumidor, das mercadorias devolvidas devido o produto estar com algum defeito, excesso de estoque, produtos indesejáveis ou desatualizados, ou após consumo, etc.;
- Planejamento da Triagem e inspeção dos materiais coletados;
- Encaminhamento para remanufatura;
- Apoio a programas de reciclagem e tratamento de produtos perigosos;

- Execução e incentivo de atividades de reúso;
- Encaminhamento para o descarte adequado.

Das operações descritas acima, o fluxo reverso dos produtos tem origem em vários pontos e poucos são consolidados com destinos apropriados. As várias funções executadas durante as atividades de logística reversa incluem agendamento, reaproveitamento, negociação, gestão das finanças e atendimento ao cliente. Assim, a logística reversa se concentra na gestão dos fluxos de materiais, informações e relações para adição de valor dos produtos recuperados, bem como para o descarte adequado.

Historicamente este tipo de gestão de fluxo reverso tem sido usado por muitas indústrias, por exemplo, as empresas de bebidas e de jornais-revistas. No caso da indústria de computadores, a IBM e Dell abraçaram a logística reversa, tomando medidas para simplificar a maneira como implementavam sistemas antigos; e no processo de tornar mais fácil para os clientes o *upgrade* de computadores já em uso (FERGUSON, 2002).

Em todos os casos, a principal preocupação é avaliar se a recuperação dos produtos pós-consumo é economicamente mais atraente do que o descarte dos mesmos.

2.4.1 Determinantes da logística reversa

De acordo com a literatura, os fatores que levam a estabelecer a logística reversa numa empresa são: os econômicos tanto diretos e indiretos, a legislação, a cidadania corporativa (BRITO; DEKKER, 2003); e as preocupações ambientais (ROGERS; TIBBEN-LEMBKE, 1998). Estes são brevemente descritos abaixo.

2.4.1.1 Econômicos

A economia é vista como a força motriz para a logística relacionada com todas as opções de recuperação, onde uma empresa recebe benefícios econômicos, tanto diretos como indiretos (por exemplo, fidelidade do consumidor), visto que as empresas se esforçam continuamente para alcançar diminuição de custos em seus procedimentos de produção. A recuperação dos produtos para remanufatura, reparação, reconfiguração e reciclagem pode levar a oportunidades de negócios rentáveis ((ANDEL, 1997) *apud* (RAVI *et al.*, 2005)). A logística reversa agora é percebida por organizações como uma “recuperação de investimento”, em vez de simplesmente minimização de custos de gestão de resíduos (SACCOMANO, 1997). Um programa de logística reversa pode trazer benefícios de custo para as empresas salientando a redução de recursos, adicionando valor a recuperação de produtos ou de redução dos custos de eliminação.

2.4.1.2 Legislação

Brito e Dekker (2003) descreveram outro fator importante para a logística reversa: a legislação. A legislação refere-se a qualquer jurisdição que torna obrigatória para as empresas recuperar seus produtos ou aceitá-los no final da sua vida útil. Estas podem incluir a coleta e a reutilização dos produtos, deslocar os custos de gestão de resíduos para produtores, reduzir o volume de resíduos gerados e aumentar o uso de materiais reciclados. Por exemplo, os riscos à saúde dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos incentivam diretamente um conjunto de critérios para a coleta, tratamento e valorização de resíduos e tornou, na Bélgica, a empresa Umicore e na Suíça, a instituição Empa, como referências frente aos produtores/distribuidores pelo financiamento destas atividades. Uma forma de diminuir riscos de poluição refere-se a restrição da utilização de substâncias perigosas nos processos de produção, o que facilita a desmontagem e reciclagem de resíduos eletrônicos, na cadeia reversa. Outra decisão por atividades de logística reversa para os computadores deverá garantir que os produtos pós-consumo sejam descartados de forma compatível com a legislação existente e tomando em conta posturas ambientais.

Schabbach (2001) relata que desde o início do ano de 2000 a Comunidade Econômica Européia já vinha mostrando tendência ao reuso e a reciclagem, através de um projeto de lei relacionado aos EEE. Em linhas gerais, este projeto de lei responsabiliza as empresas produtoras destes produtos pelo que seria feito com eles após o final da sua vida útil, fazendo com que estas empresas se preocupassem com os impactos ambientais gerados e projetassem novos produtos procurando facilitar o processo de reciclagem e reutilização no final da vida útil. Outros países como o Japão também seguiram esta tendência na época.

No Brasil, a responsabilidade das empresas frente ao e-lixo está assegurada pela PNRS, citada na seção 2.2

2.4.1.3 Cidadania corporativa

Outro fator que promove a implantação da logística reversa é a cidadania corporativa, que diz respeito a um conjunto de valores ou princípios que impõe uma empresa ou uma organização tornando-se, cada integrante da empresa, responsabilmente envolvido com a cultura empresarial e as atividades de logística reversa. Esta prática levará ao aumento de uma boa imagem corporativa (CARTER; ELLRAM, 1998).

2.4.1.4 Ambientais

A preocupação pela manutenção do meio ambiente para gerações futuras é também um dos condutores da logística reversa. Ela traz benefícios ao meio ambiente pelos resultados, por exemplo: recuperação de recursos naturais e extensão da vida útil dos produtos quando reciclados ou reusados e etc. ((BYRNE; DEEB, 1995) *apud* (RAVI *et al.*, 2005)). Hart (1997) propõe que o princípio da pegada ecológica, instrumento de avaliação dos impactos da demanda humana sobre a natureza, seja usada para iniciativas de respeito à biodiversidade dos países. Esta ferramenta ajuda a minimizar e priorizar a necessidade de recursos externos, não regionais. A logística reversa traz vantagem competitiva para as empresas que incorporam proativamente metas ambientais em suas práticas de negócios e planos estratégicos (NEWMAN; HANNA, 1996). A gestão ambiental ganhou crescente interesse no campo do gerenciamento de cadeia de suprimento, ela depende de um bom sistema logístico integrado: o direto e o reverso. Uma imagem ambientalmente correta, chamada de verde, da produção de uma empresa tornou-se um importante elemento de comercialização; que estimulou a um grande número de seus gestores a explorar opções de reprocessamento e recuperação dos seus produtos (THIERRY, 1997).

2.4.2 Logística reversa para empresas fabricantes de PCs

A luz dos determinantes enumerados, Ravi *et al.* (2005) consideram aconselhável que atividades de logística reversa sejam amplamente praticadas pelas indústrias de hardware do computador. Um dos importantes problemas enfrentados pelos gestores das indústrias de hardware de computador é a avaliação das várias alternativas para computadores no fim de sua vida útil. Por exemplo: recondicionamento, estendendo sua vida útil do PC; aproveitamento de peças; descarte seguro; e etc. Os autores trataram esta situação modelando o problema pelo método multicritério para ajudar nas melhores escolhas destas opções, relacionadas com as diversas operações de logística reversa para PCs.

Os PCS são quase onipresentes, nos últimos dez anos, e a logística reversa oferece muitas oportunidades para reutilizar e criar valor, na fase pós-consumo dos mesmos. Uma das questões principais neste contexto é a avaliação dos vários obstáculos enfrentados pelas empresas de computadores, quando programam a realização de atividades de logística reversa, por exemplo, altos investimentos, custo do transporte e etc.

A cadeia de suprimento da fase pós-consumo dos PCs depende de um sistema de logística reversa bem definida. Para avaliar uma atividade de logística reversa implementada então,

pode ser utilizada uma ferramenta de medição de desempenho chamada *balanced scorecard*, segundo Ravi *et al.* (2005). Ela permite que os gerentes acompanhem seus negócios com a intenção de assegurar que, os objetivos estratégicos da empresa sejam executados e alcançados. A *balanced scorecard* ((KAPLAN; NORTON, 1992) *apud* (RAVI *et al.*, 2005)) atua sob quatro dimensões importantes, porém divergentes: o cliente, os negócios internos, a inovação e aprendizagem e a econômica. A avaliação de um sistema de logística reversa para os PCs pode ser referida a estas quatro dimensões ou perspectivas da *balanced scorecard*.

2.4.3 Logística reversa sob a óptica das dimensões do balanced scorecard

Utilizaram-se as dimensões da *balanced scorecard* para que os gestores pudessem ter uma visão holística e obter ajuda nas escolhas das operações de logística reversa para PCs pós-consumo em dois casos estudados: na implantação do Centro de Triagem do CCE/USP, conforme mencionado no S-lab (2008) e no modelo apresentado no artigo de Ravi *et al.* (2005). As quatro dimensões da avaliação e seus mecanismos ativadores serão brevemente discutidos a seguir.

2.4.3.1 Perspectiva do cliente

Esta dimensão descreve o que um cliente espera das operações de logística reversa. Pochampally e Gupta (2004) informaram que o sucesso de uma cadeia de suprimentos reversa depende fortemente da participação de três grupos importantes, clientes, funcionários do governo local e executores de cadeia de suprimento, os quais têm interesses múltiplos, contraditórios, e metas, às vezes, sem uma medição precisa. Assim as potenciais alternativas de logística reversa devem ser avaliadas com base num consenso maximizado de interesses, dentre esses três grupos. Para os clientes, a principal preocupação é a conveniência. Uma pesquisa realizada sobre os prestadores de serviços de logística em Cingapura concluiu que a voz do cliente é o condutor mais importante da gestão logística (SUM; TEO, 1999). Os clientes de hoje exigem que os fabricantes reduzam as quantidades de resíduos gerados por seus produtos, além deles exigirem “limpar” os processos de produção. Isto é, o cliente quer que os materiais utilizados, potencialmente perigosos, no processo de produção sejam substituídos por materiais que minimizam danos aos usuários, mais em consonância com a ótica da diminuição da pegada ecológica. Então, tem havido uma maior aceitação dos clientes para produtos reciclados devido a preocupações com o ambiente.

A logística reversa também influencia no atendimento e na satisfação; por exemplo, a capacidade das empresas na manipulação da devolução do produto, enviado para reparo

necessário, de forma rápida e eficiente será essencial para sua sobrevivência ((BLUMBERG, 1999) *apud* (RAVI *et al.*, 2005)). Assim, é visto que as operações de logística reversa devem oferecer serviços com base na perspectiva do cliente.

2.4.3.2 Perspectiva de negócios internos

Os gerentes pela logística reversa devem concentrar-se nas operações internas críticas que permitam a elas satisfazerem as necessidades do cliente. Uma dessas operações é a informação de apoio ao cliente, que é uma das maneiras de desenvolver vínculos para a realização de operações de logística reversa eficiente (DAUGHERTY *et al.*, 2002). A disponibilidade de informações rápidas e precisas com que os gestores de logística são capazes de prever os produtos que podem ser devolvidos, contribuem para um processo de recepção mais eficiente e encaminhamento para reciclagem dos produtos. Um empenhado esforço no gerenciamento é essencial para a implantação bem-sucedida de programas de logística reversa (CARTER; ELLRAM, 1998).

Novas tecnologias também são necessárias. Assim, como muitas empresas têm programas de desenvolvimento de produto, englobando o projeto, ou *design*, esta deverá estar dirigida a preservar o meio ambiente. Isto é visível quando são planejados, desde o design, mecanismos para a recuperação das peças do produto, incorporando facilidades para desmontagem do mesmo.

2.4.3.3 Perspectiva de aprendizagem e inovação

Nesta dimensão a ferramenta de avaliação *balanced scorecard* se concentra nas operações de logística reversa para computadores que podem continuar a melhorar e possibilita criar mais valor para os clientes, melhorando a eficiência. Assim, a logística reversa é iniciada como uma variável estratégica por razões competitivas (ROGERS; TIBBEN-LEMBKE, 1998). Como a sustentabilidade ambiental e desempenho ecológico de uma empresa, também dependem dos fornecedores ((GODFREY, 1998) *apud* (RAVI *et al.*, 2005)), alianças estratégicas são feitas com vários membros da cadeia de suprimento, pois as empresas estão percebendo que as tentativas individuais de recuperação do produto fazem pouco sentido tanto economicamente e/ou ambientalmente ((CAIRNCROSS, 1992) *apud* (RAVI *et al.*, 2005)).

2.4.3.4 Perspectiva econômica

Esta dimensão da ferramenta *balanced scorecard*, indicará como as operações da logística reversa em andamento satisfazem os objetivos financeiros de uma empresa. Isso pode ser ativado com uma redução de resíduos, redução de custos em operações, e recaptura de valor a partir dos produtos recuperados ((BACALLAN, 2000) *apud* (RAVI *et al.*, 2005)). Uma logística reversa eficaz contribui para agregar valor a materiais-peças pós-consumo, via reutilização de produtos e/ou via reciclagem de materiais. O processo de logística reversa consiste no planejamento, coleta, armazenagem e alocação da recuperação de produtos pós-consumo e/ou pós-venda (ROGERS; TIBBEN-LEMBKE, 1998).

Implementar programas de logística reversa para reduzir, reutilizar e reciclar resíduos de distribuição e de outros processos, na cadeia de produção em uma empresa, produz dois tipos de valor: tangível e intangível ((KOPICKI *et al.*, 1993) *apud* (RAVI *et al.*, 2005)). Kokkinaki *et al.* (2001) relata que nos EUA, a principal motivação para a logística reversa está associada com o valor potencial que pode ser recuperado a partir da reutilização de produtos ou de suas partes ou na reciclagem de materiais usando comércio virtual, sendo esse um exemplo de valor tangível. Um valor intangível é alcançado quando ganha o reconhecimento, pela prática de responsabilidade ambiental, da comunidade onde operacionaliza a produção e a fidelidade dos clientes ao produto.

2.4.4 Alternativas para operações de logística reversa para fabricantes de PCs

Após a identificação de importantes critérios de seleção para a realização de operações de logística reversa a luz das dimensões ou perspectivas de análise do *balanced scorecard*, Ravi (2005) aponta algumas alternativas distintas. Elas são: terceirização da desmontagem, introdução e operacionalização de logística simbiótica e a implementação de uma rede de logística reversa virtual para PCs. A seguir uma breve descrição de cada alternativa:

2.4.4.1 Terceirização da desmontagem

White *et al.* (2003) reportou que a maioria das empresas de recuperação de computador não realiza operações de desmontagem para processar produtos de informática obsoletos e sucatas. Lieb e Randall (1999) relatou que a terceirização dessa atividade, é vista por parte da logística reversa como uma área de oportunidade e sugerem que atividades de logística reversa realizada por terceiros podem se tornar mais prevalentes no futuro. Isso permite que os fabricantes originais de equipamentos se concentrem em focar as suas competências essenciais e deixem as operações de desmontagem para empresas privadas, parceiras,

especializadas nessas funções. Spicer e Johnson (2004) define o conceito de terceirização da desmontagem como uma responsabilidade estendida do produtor que contratará parcerias com empresas privadas com a função de aceitar a responsabilidade de dar o fim de vida dos produtos, de uma montadora, o que asseguraria que o produto-descartado seria disposto de uma maneira ambientalmente responsável e compatível com a legislação.

Assim, a responsabilidade da gestão do fim de vida dos produtos é transferida para empresas terceirizadas e o fabricante não tem mais riscos financeiros associados ao final-de-vida útil de seus produtos. Os benefícios para os fabricantes, no uso deste tipo de sistema são:

- Concentrar em suas principais competências e deixar o processo de desmontagem às empresas especializadas;
- Permitir que as terceirizadas atendam às suas responsabilidades com os produtos descartados, eliminando simultaneamente o risco financeiro associado com as incertezas de fim de vida útil do produto;
- Alcançar os benefícios potenciais derivados das propostas de melhoramento no design do produto, para o processo de desmontagem dos terceirizados; da inovação na desmontagem e eficiência impulsionada pela concorrência no setor da reciclagem.

Os benefícios deste sistema para o público em geral são:

- A terceirização da desmontagem proporciona uma realimentação econômica no processo de design do produto, perspicaz e imediato, dirigido a melhorá-lo;
- A concorrência estimula a inovação na indústria de desmontagem e;
- O mais importante, a terceirização entrega o processo de desmontagem para o nível mais local, criando empregos e reduzindo os custos de transporte.

Embora empresas terceirizadas, parceiras na reponsabilidade dos resíduos de produtos manufaturados, tenham as vantagens acima descritas, sofrem de algumas limitações. Algumas dessas dificuldades são:

- A identificação dos produtos no final de vida útil;
- O problema de desmontagem de produtos e reciclagem de materiais, e;
- Dificuldades enfrentadas pelos recicladores locais em encontrar mercados adequados para os materiais recicláveis e das partes que são retiradas de uma grande variedade de produtos.

2.4.4.2 Operacionalização de logística simbiótica

O significado que a ecologia dá para simbiose é: uma relação entre duas espécies de organismos diferentes que são interdependentes e ganham benefícios um com o outro. Adler (1966) *apud* RAVI *et al.* (2005) usou este conceito e definiu o marketing simbiótico como a aliança de recursos ou programas entre duas ou mais organizações independentes, destinadas a melhorar o potencial de comercialização de cada uma. Uma série de fatores como o rápido ritmo da mudança tecnológica, o gosto dos consumidores, a explosão da informação, a automação, os encargos financeiros da pesquisa escalonada e do desenvolvimento, a globalização dos negócios, e a crescente ferocidade da concorrência, aumenta a relevância do marketing simbiótico ((ADLER, 1966) *apud* (RAVI *et al.*, 2005)). Turner *et al.* (1994) examinaram os benefícios potenciais de relações simbióticas em logística reversa.

As relações simbióticas assumem uma grande importância com a concorrência tornando-se mais internacional na atualidade. Degher (2002) relatou a retomada de programas de reciclagem na Hewlett-Packard Ltda e concluiu que os fabricantes de eletrônicos e agências de governo devem trabalhar juntos para oferecer aos clientes um programa de reciclagem ambientalmente responsável. A nova ênfase na comunidade empresarial é a formação de alianças estratégicas (HEIDE; JOHN, 1992). Um dos desafios enfrentados pelos gestores é criar flexibilidade nas suas organizações assim, hierarquias verticais são substituídas por redes horizontais; funções tradicionais serão ligadas através de equipes multifuncionais, e são formadas alianças estratégicas com fornecedores, clientes ou até mesmo concorrentes ((HIRSCHORN; GILMORE, 1992) *apud* (RAVI *et al.*, 2005)).

A logística simbiótica é definida como – a aliança estratégica de duas ou mais empresas independentes, projetada para fornecer um nível de atendimento desejado ao cliente de acordo com o conceito de gerenciamento de logística integrada (MITCHELL *et al.*, 1993). A logística reversa vigora sistemas projetados para mover bens e serviços direcionados à produção de novos bens para agir no sentido inverso. Utilizando o conceito simbiótico, acima apresentado, poderia-se resolver uma série de problemas dos canais reversos necessários, por exemplo, a capacidade.

Na implementação efetiva da logística reversa, as empresas perceberam que tentativas individuais para a recuperação do produto fazem pouco sentido, tanto economicamente como ambientalmente. Uma razão para isso poderia ser que o volume dos produtos devolvidos, em foco, é pequeno para justificar o esforço individual. Assim, a solução lógica para este

problema seria a união com outras empresas em situações semelhantes a fim de obter volume de material. Mais importante ainda, os efeitos eficazes sem interrupções dos canais reversos de distribuição poderiam ser minimizados pelas relações simbióticas.

Os fatores políticos e jurídicos, a concorrência tecnológica e os conceitos econômicos aumentam a relevância das relações simbióticas aplicados à logística reversa.

A principal diferença entre a terceirização e a logística simbiótica para computadores está representada pelas partes que estão envolvidas na realização de operações de logística reversa. Na terceirização, fabricantes de equipamento original terceirizam as operações de desmontagem a empresas privadas. As empresas assumem a responsabilidade de eliminação destes produtos. Por outro lado, na logística simbiótica as organizações podem fazer alianças estratégicas com outras empresas, fornecedores, clientes que podem até mesmo serem seus concorrentes para atingir objetivos comuns de negócios. As relações entre as partes envolvidas neste processo são simbióticas, porque duas ou mais organizações unem seus recursos na tentativa de obter os benefícios da logística reversa, o que não estaria disponível individualmente para cada um delas.

2.4.4.3 Rede de logística reversa virtual para PCs

A revolução produzida pela *internet* (sistema de comunicação mundial de computadores, conhecida por *web*) trouxe novas formas de negócios de concorrência global, o aumento de informações disponíveis, clientes qualificados, rapidez nas inovações e mudanças nos relacionamentos. A *internet* abrange um espectro mais amplo de potenciais atividades comerciais e oferece a troca de informações necessárias para um mercado eletrônico intermediário. O *e-commerce*, comércio via *web*, entrou nos negócios entre empresas, *businesses-to-businesses* (B2B), ou entre empresas e clientes *businesses-to-consumers* (B2C). Recentemente no Brasil verificam-se as redes de compra e descontos massivos, que ajudam a movimentar a economia local das cidades. Exemplos de redes: Peixe Urbano e Groupon. Kokkinaki *et al.* (2001) propuseram um modelo de rede de logística reversa virtual para os PCs. Esta rede depende de tecnologias de *e-commerce* e *www* para monitoramento e avaliação remoto. Esta rede de logística reversa virtual considera todos os PCs, cadastrados pelo usuário ou fornecedor, desde sua entrada até declarados obsoletos e armazenados num sistema base de dados. O recurso exclusivo do mercado eletrônico é que traz vários compradores e vendedores juntos, no sentido virtual, no mercado. Vários produtos utilizados são para venda nestes locais e potenciais clientes tem a oportunidade de obter informações pertinentes sobre

os produtos on-line, declarar seu interesse e a possibilidade de comprá-los. Um módulo de suporte a decisão fornece recomendações para reutilização, remanufatura ou reciclagem aos PCs.

As operações de logística reversa podem ter alto custo para as montadoras de PCs. Inclusive a implementação destas pode ser uma tarefa de alto risco, que envolve aspectos financeiros e operacionais. No entanto, com as pressões legislativas, não existem muitas opções. Agora a questão não é se deve ou não implementar estas atividades, mas qual a alternativa deve ser escolhida. Foram apresentadas nesta seção alternativas que são bem sucedidas em países desenvolvidos, porém há outras opções encontradas na literatura e citadas nos exemplos do tópico a seguir.

2.4.5 Bons exemplos de atividades de logística reversa

Após a compilação de conceitos básicos sobre a ferramenta de logística reversa e a apresentação de soluções que utilizam esta ferramenta através das perspectivas do balanced scorecard, apresenta-se alguns exemplos de atividades que evidenciam boas práticas. Os exemplos são atividades desenvolvidas por: uma empresa de celular, algumas IES e algumas operações de reciclagem de material eletrônico, propostas em pesquisas acadêmicas.

2.4.5.1 O Remade

Em Fevereiro de 2008, a Nokia lançou um conceito de telefone, o *Remade* para produção de celulares. Ele foi feito quase inteiramente de materiais reciclados, como latas de alumínio, garrafas de plástico e mesmo antigos pneus de carro. O *Remade* é um exemplo de *upcycling*, uma forma de reciclagem que tenha utilizado materiais reciclados e cria um novo produto com uma qualidade ou um valor maior do que o material original. Materiais que são projetados para serem *upcycled* são, também, chamados de nutrientes tecnológicos. Segundo McFedries (2008), a reciclagem tradicional é geralmente descrita como *downcycling*, porque a qualidade do material se degrada com cada novo ciclo de vida. Isto acontece, por exemplo, com o papel reciclado que não é da mesma qualidade do papel recém-produzido e com o aço reciclado que não é tão forte como o recém-forjado. (O processo de produtos onde o material de um produto reciclado é basicamente o mesmo que o material original é chamado de reciclagem de ciclo fechado, é o caso das latinhas de alumínio). O *Remade* é um exemplo onde as perspectivas: cliente, inovação, econômica e de negócios internos do balanced scorecard, citadas nesta seção são evidentes, pois a empresa procura produzir com mais

qualidade para seus consumidores, usando a reciclagem de materiais *upcycling*, algo inovador, que ajuda a associar sua imagem a práticas ambientalmente corretas.

2.4.5.2 Práticas de atividades de logística reversa em algumas IES

Neste tópico, são citadas algumas atividades de logística reversa praticadas em IES no mundo.

Contratos de retomadas de PCs no final de sua vida útil

A Universidade da Califórnia que adquire mais de 10000 computadores por mês e dispõe de mais de 500 toneladas de e-lixo anualmente tem como parte de sua política de sustentabilidade ambiental, um mandato que todo o sistema dos 10 campus pode apenas comprar itens que atendam ao padrão *Electronics Product Environmental Assessment Tool*, ferramenta de aquisição utilizada nos Estados Unidos para ajudar os compradores institucionais a avaliar, comparar e selecionar PCs e monitores com base nos seus atributos ambientais. A IES aproveita seu tamanho e importância nos locais onde está instalada para influenciar os fornecedores e empresas de reciclagem. Suas diretivas requerem que a ação de "retomar" os PCs no fim de sua vida útil seja incluída como obrigatória em todos os contratos de compras futuras. Para todo e-lixo existente, todos os campus da IES são proibidos de contratarem qualquer empresa de reciclagem que exportem PCs e/ou seus componentes sem garantia de tratamento ambiental adequado para processá-los (S-LAB, 2008). Esta IES utiliza a seguinte alternativa de logística reversa: operacionalização da logística simbiótica dos usuários com empresas cadastradas que fazem reciclagem garantida.

Incentivo a reutilização

A Universidade do Colorado é pioneira (S-LAB, 2008) em promover a reutilização de PCs e seus componentes. As empresas e organizações locais encontram na IES novas alternativas de reutilização ou a identificação de uma boa forma de reciclagem de e-lixo que irá ser mais barato do que a eliminação de resíduos perigosos. A IES também ministra palestras em toda a região onde está localizada para instituições e a população em geral sobre melhores formas de reutilizar os seus PCs em desuso. Pode-se verificar a operacionalização da logística simbiótica do usuário nas atividades desta IES.

Monitoramento após a doação dos PCs

Uma das alternativas de atividades de logística reversa que a Universidade de Duke utiliza para gerenciar seu e-lixo é a doação. Para que a IES não tenha PCs em bom estado, parados, a IES apaga os dados do PC e treina seus estudantes para reinstalar o sistema operacional antes

de doá-los para organizações locais de caridade e demais cidadãos. A IBM, Cisco e outras empresas patrocinam este projeto com o objetivo de que em cada casa da região onde a IES está situada tenha um PC. A IES mantém um banco de dados de todos os equipamentos doados, para reuso, sejam monitorados garantindo que todos os produtos sejam utilizados de forma sustentável. (S-LAB, 2008). Pode-se também verificar a operacionalização da logística simbiótica do usuário nas atividades desta IES.

Centro de Triagem

Como já foi citado nesta dissertação, a USP mantém em funcionamento um centro de triagem que recebe EEE em desuso da própria IES. O centro possui funcionários treinados para verificar se os equipamentos podem ser reutilizados e/ou doados para ONGs ou desmontados de modo que os materiais possam ser separados, prensados, pesados e enviados para empresas que fazem reciclagem de forma sustentável. A IES já possui uma operacionalização da logística simbiótica de usuário avançada e tende a crescer mais com a PNRs, que em seu conteúdo corrobora uma gestão compartilhada dos resíduos sólidos.

2.4.5.3 Alguns exemplos específicos de reciclagem de PCs e equipamentos relacionados em pesquisas acadêmicas

Nesta seção, lista-se partes de pesquisas acadêmicas que abordam atividades de logística reversa, mais especificamente, a reciclagem de PCs e periféricos. Identifica-se a inovação como a principal perspectiva encontrada nestes exemplos, segundo a ferramenta *balanced scorecard*.

Veit (2005) relaciona os primeiros estudos para reciclagem de sucatas eletrônicas que datam de 1969, quando a *U. S. Bureau of Mines* (empresa dos Estados Unidos pioneira em financiar pesquisas de extração, processamento, uso e conservação de recursos minerais) começou a investigar procedimentos para recuperar metais preciosos de sucatas eletrônicas militares obsoletas ou danificadas que atingiam mais de 9100 toneladas por ano. Atualmente, há uma quantidade grande de pesquisas em IES que tem como objetivo a sustentabilidade ambiental na produção e comercialização de EEE. Seguem alguns exemplos:

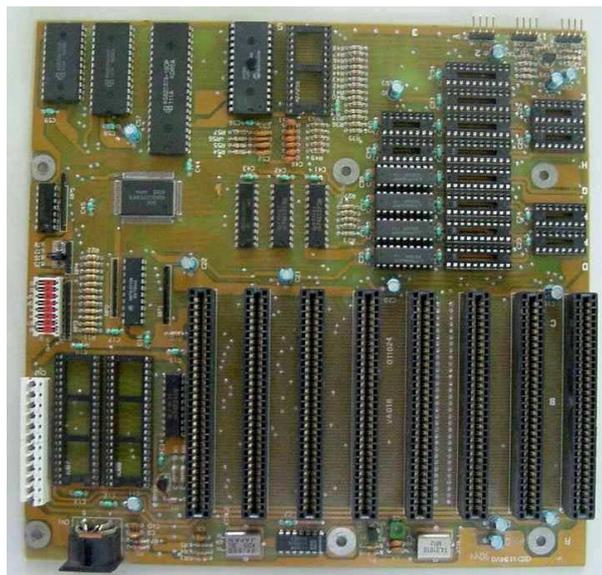
Reciclagem de PCIs

Um exemplo interessante de reciclagem de eletrônicos está descrito no trabalho de Veit (2001) que aborda como reciclar Placas de Circuito Impresso (PCI), presentes em um computador, representando 2% do peso total de um PC (ABRANTES, 2009). As PCIs, que

são muito utilizadas em equipamentos da indústria eletroeletrônica, portanto fazem parte do descarte de PCs. A sua composição é muito heterogênea, e é composta de uma maneira geral de plásticos, cerâmicos, metais base, metais preciosos e terras raras. Toda essa mistura torna sua reciclagem bastante difícil, mas em compensação, a presença de metais preciosos a torna uma matéria prima interessante. Também a presença de substâncias poluentes na sua composição estimula estudos para evitar a sua disposição diretamente no meio ambiente, pelo forte risco de causar danos se dispostas de maneira inadequada.

As PCIs, objeto de estudo, no trabalho de Veit (2001) são provenientes de PCs e coletadas em empresas que trabalham com manutenção de microcomputadores. Foram utilizadas placas obsoletas ou então defeituosas. Para a realização de todo o trabalho utilizou-se aproximadamente 10 kg de PCIs provenientes de PCs dos mais variados tipos e idades. A Figura 4 abaixo mostra uma PCI antes de qualquer processamento. As partes reutilizáveis ou que continham substâncias tóxicas (baterias, capacitores e etc.) foram retiradas manualmente.

Figura 4: Placa de Circuito Impresso de um PC. Fonte: (VEIT, 2001)



Antes de qualquer processamento das PCIs, foi necessário fazer uma análise química preliminar para conhecer melhor o material que se pretendia estudar. Uma moagem foi realizada e o seu produto separado em três frações granulométricas: F1, F2 e F3. Uma análise mais completa usou uma fração de menor granulometria¹, F1. Para as outras frações foram analisados apenas os elementos de maior interesse comercial e que estavam presentes em maior quantidade na fração F1. Essa análise, mostrada na Tabela 8, confirma a grande

¹ método de análise que visa classificar as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes de cada um (Ferreira, 2010).

quantidade de metais presentes nas PCIs, o que indica uma grande dificuldade na reciclagem destas sucatas, mas também mostra o grande percentual de metais valiosos que podem ser recuperados.

Tabela 8: Composição química das PCIs. Concentração (% em peso). Fonte: (VEIT, 2001)

Elemento	F1 (F< 0.25mm)	F2 (0.25<F<0.5)	F3 (0.5<F<1.0)
Alumínio	2.26	Não determinado	Não determinado
Antimônio	0.13	Não determinado	Não determinado
Bário	0.35	Não determinado	Não determinado
Berílio	Não determinado	Não determinado	Não determinado
Bromo	4.6	Não determinado	Não determinado
Cálcio	5.94	Não determinado	Não determinado
Carbono	21.15	Não determinado	Não determinado
Chumbo	4.54	Não determinado	Não determinado
Cloro	0.17	Não determinado	Não determinado
Cobre	4.49	7.95	8.10
Cromo	0.03	Não determinado	Não determinado
Escândio	0.0005	Não determinado	Não determinado
Estanho	6.35	4.5	6.02
Estrôncio	0.0501	Não determinado	Não determinado
Ferro	1.055	Não determinado	Não determinado
Fósforo	2.4	Não determinado	Não determinado
Ítrio	0.0011	Não determinado	Não determinado
Magnésio	1.4	0.8	0.62
Níquel	0.252	0.98	2.73
Ouro	0.0453	Não determinado	Não determinado
Paládio	0.0015	Não determinado	Não determinado
Potássio	0.15	Não determinado	Não determinado
Prata	0.247	0.1	0.05
Silício	11.68	Não determinado	Não determinado
Sódio	0.18	Não determinado	Não determinado
Titânio	0.605	Não determinado	Não determinado
Vanádio	0.0028	Não determinado	Não determinado
Zinco	0.038	Não determinado	Não determinado
Zircônio	0.101	Não determinado	Não determinado
Total da %	68.2193		

O uso do Processamento Mecânico na reciclagem desse resíduo é uma alternativa na recuperação dos metais presentes e também uma maneira de separar seus vários componentes, permitindo assim organizá-lo devidamente.

De acordo com Veit (2001) as PCIs passaram por várias etapas de processamento mecânico para sua reciclagem. Primeiramente foram moídas abaixo de 1 mm e após foram classificadas, caracterizadas e diferentes frações foram separadas por densidade. A primeira classificação foi feita por granulometria, e gerou três frações diferentes: uma menor que 0.25mm, outra entre 0.25 e 0.50mm e outra entre 0.50 e 1.0mm. Após foi feita uma separação por densidade obtendo-se uma fração rica em metais, em especial o cobre, e outra fração leve composta por polímeros e cerâmicos.

Algumas considerações interessantes de Veit (2001) são:

As PCIs são classificadas como resíduos perigosos devido ao alto teor de substâncias tóxicas existente nelas. Através apenas do processo de cominuição² é possível concentrar metais, principalmente nas frações de maior granulometria, F3, mostradas na Tabela 8. A separação por densidade através de líquidos orgânicos para uso em laboratório se mostrou bastante eficiente, alcançando uma concentração de mais de 80% de metais na fração afundada; após a separação por densidade a fração metálica possui cerca de 65% de cobre; a fração leve resultante do processo de separação por densidade é considerada como resíduo perigoso, pois o teor de chumbo ainda permanece muito alto.

Reciclagem de cabos de uso eletrônico

Outro exemplo de reciclagem de material eletrônico é abordado por Araújo (2006) que descreve como os cabos de uso eletrônico podem ser reaproveitados para reciclagem através de operações unitárias de tratamento de minérios. Segundo Araújo (2006), o tratamento da sucata iniciou-se com a seguinte seqüência: moagem, separação granulométrica, separação em meio denso, separação eletrostática, atrição, bateamento³ e elutriação⁴. Ao final destes processos observou-se que as operações unitárias utilizadas na pesquisa obtiveram concentrados de cobre com baixo grau de contaminação, porém com exceção da elutriação, todas precisam de outra técnica para complementá-las. Com os resultados obtidos, concluiu-se que a moagem em moinho de facas com grelha de 3 mm seguida de elutriação possibilita a separação do material polimérico, assim como, à obtenção de um concentrado de cobre.

2.4.6 Transferência de tecnologias inovadoras para reciclagem de PCs

É fato que o desenvolvimento tecnológico é dinâmico, pois no atual sistema econômico mundial requerem-se, freqüentemente, inovações para manter vantagem competitiva, da empresa, que a realimentem. Ainda, para pôr em execução as atividades de logística reversa, também são necessárias novas tecnologias como alternativas para colaborar com ações que

² Diminuição gradual pela remoção sucessiva de pequenas partículas; desgaste; A cominuição ou fragmentação consiste na redução da granulometria das partículas que constituem as amostras (Tavares, 2006).

³ No bateamento é utilizada a bateia, de acordo com Tavares (2006) a bateia é um equipamento do século XVIII, circular e levemente afunilado, em geral de madeira ou aço, utilizado para extrair diamante do cascalho em garimpo, ouro, estanho, tantalita, pirita, enfim, mineral pesado. O processo de concentração gravitacional por meio de bateamento foi um dos processos utilizados na pesquisa para separação do cobre e PVC.

⁴ Tavares (2006) descreve que o elutriador é o aparelho de separação granulométrica cujo princípio de funcionamento é a elutriação. O minério, na forma de polpa aquosa, é submetido a uma corrente de fluido ascendente, cuja velocidade arraste as lamas em suspensão com sua subsequente separação (transbordamento). O material deslamado é sedimentado, sendo então removido, através de bombeamento ou outros processos.

preservem o meio ambiente. Abordam-se, neste tópico, quais são as novas tecnologias já utilizadas em alguns países desenvolvidos e como elas podem ser transferidas e adequadas em países em desenvolvimento.

Segundo StEP (2009) inovação sustentável é definida como a mudança de tecnologias no processo de fabricação, produtos e serviços para o mercado, que requerem optar por um conceito mais preventivo quanto a sua criação e conforme uma agenda global comum. O desafio é sensibilizar todos os intervenientes dos diferentes setores para perceber o potencial de inovações para eco-inovações, tais que conduzam a padrões de produção e consumo sustentáveis.

No e-lixo existem metais como o alumínio, cobre, paládio e ouro. Neste tipo de resíduo também estão presentes elementos tóxicos e perigosos, que motivam a necessidade de execução dos processos de coleta e tratamento. Por conseguinte, na discussão de tecnologias de reciclagem, mencionadas a seguir, estará incluído o tratamento adequado destes tipos de elementos para evitar problemas ambientais ou de impacto na saúde humana. Além disso, colocará em evidência a utilização e a geração de substâncias tóxicas/perigosas durante o processamento do e-lixo (por exemplo, presença de mercúrio na junção de ouro ou gases de dioxinas quando incinerada de forma inadequada). StEP (2009) relata que a PNUMA (Programa das Nações Unidas do Meio Ambiente) faz uma avaliação crítica com relação, a sustentabilidade de tecnologias inovadoras, que se aplicam na atual cadeia de reciclagem do e-lixo.

O tratamento adequado do e-lixo pode tanto evitar graves danos ambientais como também recuperar materiais valiosos, especialmente os metais. A cadeia de reciclagem de e-lixo é classificada em três principais etapas subseqüentes: (i) a coleta, (ii) o pré-processamento (incluindo triagem, desmontagem e processamento mecânico) e (iii) processamento final. (STEP, 2009).

Todas as três etapas devem operar e interagir de forma holística para atingir os objetivos gerais de reciclagem. Os principais objetivos da reciclagem do e-lixo e considerações básicas de inovação são:

- Tratar as frações de substâncias perigosas;
- Recuperar o máximo de material valioso;
- Criar negócios sustentáveis;

- Verificar o impacto social considerando o contexto local⁵.

Segundo StEP (2009) as barreiras para a transferência de tecnologias sustentáveis de reciclagem de e-lixo foram identificadas e discutidas nas seguintes perspectivas:

- Política e legislação;
- Tecnologia e habilidades e;
- Negócios e financiamento.

Sobre política e legislação, os principais obstáculos provêm da falta de leis jurídicas específicas, baixa prioridade dos países para o assunto e a execução descoordenada das leis, quando existentes. No Brasil, a PNRS já foi regulamentada, porém, segundo o Art. 54 da lei, ainda tem prazo de quatro anos para ser colocada em prática após sua publicação. Em matéria de tecnologia e habilidades, as barreiras são: a forte influência do setor informal, pequenas ou médias empresas que se dedicam a reciclagem sem registro oficial e a falta de infra-estrutura de coleta. As barreiras adicionais atribuídas aos negócios e financiamento incluem: responsabilidade limitada da indústria, altos custos de logística reversa, possível exploração de trabalhadores de comunidades desfavorecidas, a criminalidade e a corrupção.

Devido à falta de sensibilização para a reciclagem de e-lixo em economias emergentes, não foram ainda estabelecidos centros de inovação nesta área. No entanto, algumas organizações atualmente estão estabelecendo suas competências em e-lixo e têm um grande potencial para desenvolver estes centros. A atual situação na China, Índia e África do Sul indicam que economias menores e menos complexas como a África do Sul melhoram com mais rapidez na tomada de consciência e competência.

Também foi observado que o desenvolvimento de tecnologias inovadoras, é prejudicado por falta de leis adequadas e participação ativa do governo. O sucesso futuro da inovação tecnológica em ambientes com forte participação de reciclagem informal depende de modelos de negócios alternativos com incentivos financeiros, que permitam que o setor informal ainda participe com processos "seguros" de reciclagem, enquanto as operações perigosas serão transferidas para recicladores formais sob fiscalização do Estado.

⁵ No Brasil há uma população de catadores de aproximadamente 800000 pessoas, cujas famílias dependem da extração de material reciclável dos lixões e aterros controlados. (MNCR, 2011)

2.4.6.1 Os mercados para tecnologias de reciclagem.

A criação de mercados pode ser considerada como a base para transferência de tecnologia. Os principais fatores para a criação de mercados para tecnologias de reciclagem são os econômicos e a legislação. No entanto, o potencial de mercado de tecnologias de reciclagem de e-lixo e de suas condições favoráveis variam entre países e regiões. Especificamente, as tecnologias mais promissoras para a reciclagem de e-lixo precisam ser identificadas e fomentadas. Particularmente em muitos países em desenvolvimento são necessárias políticas públicas, que são as ferramentas e instrumentos que promoverão o financiamento da coleta e transferência de inovação tecnológica no campo da reciclagem de e-lixo. Isso iria economizar custos, energia e recursos naturais e poderia ajudar os países a ser menos dependentes dos preços de matérias-primas.

O PNUMA se beneficia de sua longa experiência para promoção de transferência de tecnologia em países em desenvolvimento.

2.4.6.2 Fundamentos de reciclagem de e-lixo

É essencial compreender as questões subjacentes nas operações de reciclagem de e-lixo, tais como:

- Significado de gerenciamento de e-lixo e controle de material tóxico;
- Estrutura geral, principais passos e interfaces da cadeia de reciclagem;
- Objetivos a atingir;
- Critérios para classificação da inovação que medirão o impacto do processo de reciclagem.

Estes tópicos são independentes do material reciclado, do tipo de dispositivo e do local ou região onde será realizada a reciclagem.

Significado de gerenciamento de e-lixo e controle de material tóxico

O e-lixo é geralmente considerado como um problema em relação aos resíduos sólidos porque pode causar danos ambientais se não for tratado de forma adequada. Portanto, é necessário induzir a fechar o ciclo de vida dos EEE para diminuir não só os problemas ambientais e de saúde significativos, mas também ao esgotamento sistemático de recursos materiais utilizados nestes.

Modernos EEE podem conter até 60 elementos químicos diferentes; muitos são valiosos e em pouca quantidade, alguns são perigosos e alguns são ambos. Os EEE são grandes consumidores de muitos metais preciosos e especiais, conhecidos como terras raras. Apesar

de todos os esforços legislativos para estabelecer uma economia de fluxo circular (ciclo fechado) na UE/países desenvolvidos, a maioria dos recursos valiosos hoje é perdida de vários modos: por tecnologias inadequadas de reciclagem e os fluxos de exportações de e-lixo (em grande volume) e levados muitas vezes ilegalmente para regiões com nenhuma ou inadequada infra-estrutura de reciclagem. Estas regiões estão frequentemente localizadas nos países em desenvolvimento, o que infelizmente gera grandes emissões de substâncias perigosas.

Impacto nos recursos de metais

Uma vasta gama de metais, plásticos e outras substâncias estão contidas em EEE. Por exemplo, um telefone celular pode conter metais como cobre e estanho, metais especiais tais como cobalto e índio e metais preciosos, como prata, ouro e paládio, como mostrado na Figura 5. Metais representam, em média, 23% do peso de um telefone, a maioria sendo cobre, enquanto o restante é material plástico e cerâmico. Dos valores presentes, de alguns metais, em média, em uma tonelada de aparelhos de telefone (sem bateria) estão 3.5 kg Ag, 340 g Au, 140 g Pd, bem como de 130 kg Cu. Além disso, uma bateria de lítio, de um telefone celular, contém cerca de 3.5 g Co (HAGELÜKEN, 2008). A princípio, a necessidade de metais para fabricar um telefone parece pequena, mas tendo em conta os dados em Gartner (2007), que informam a venda de 1.2 bilhão de celulares no mundo em 2007, leva a preocupar a demanda significativa de metais para sua fabricação. No caso de PCs, números em uma ordem de magnitude semelhante são encontrados. Além disso, a utilização de metais mais comuns, como o ferro em EEE é considerável. Wasswa (2008) relata que foram utilizadas para fabricar PC *desktop*, cerca de 6 kg de ferro/aço para um PC o que totaliza 930000 toneladas necessárias para todos os computadores vendidos em 2007 no planeta.

Figura 5: Elementos componentes em um telefone celular. Fonte: Adaptado de (UMICORE, 2010)



Tendo em conta as taxas de crescimento muito dinâmicas de todos os outros EEE, tais como telas de cristal líquido (LCD), TVs e monitores, MP3 players, brinquedos eletrônicos e câmeras digitais, torna-se claro que os EEE são um dos principais motores para a evolução da procura e preços para uma série de metais. Em particular, a demanda por metais preciosos e especiais está ligada ao aumento das funcionalidades dos produtos e as propriedades específicas do metal necessárias para alcançá-las. Por exemplo, os EEE compõem quase 80% da demanda mundial de índio (camadas condutoras transparentes de LCD), mais de 80% de rutênio (pelas propriedades magnéticas são usados nos discos rígidos) e 50% de antimônio (que são retardadores de chama). O aumento de preço destes metais, observado nos últimos anos, está diretamente ligado à evolução da indústria de EEE. O valor monetário da utilização anual de importantes metais em EEE representou US\$ 45.4 bilhões em 2007, StEP (2009). Estes metais podem estar disponíveis novamente no final de fim de vida dos dispositivos. A reciclagem eficaz dos metais/materiais é fundamental para mantê-los disponíveis para a fabricação de novos produtos, sejam EEE ou de aplicações que não foram inventados ainda. Desta forma os recursos de metais primários e de energia podem ser conservados para as próximas gerações.

A importância dos metais para fabricação de EEE e a toxicidade de alguns deles foram mencionados na seção 2.3 desta dissertação.

Estrutura e principais etapas na cadeia de reciclagem

A cadeia de reciclagem do e-lixo, ilustrada na Figura 6, consiste em três passos subsequentes: i) Coleta ii) pré- processamento (incluindo triagem, desmontagem e tratamento mecânico) e iii) processamento final (incluindo refinação e eliminação). Normalmente, para cada uma dessas etapas, existem organizações especializadas. A eficiência de toda a cadeia de reciclagem depende da eficácia de cada etapa e como as interfaces entre estas etapas interdependentes são gerenciadas, isto é feito via um bom sistema de logística reversa. Verifica-se a seguir as características de cada um dos passos desta cadeia.

Figura 6: Cadeia de reciclagem. Fonte: Adaptado de (S-LAB, 2008)



A coleta de e-lixo é de crucial importância e depende do encaminhamento do consumidor. Ela determina a quantidade de material que é efetivamente disponível para recuperação. Muitos

programas de coleta estão corretos, mas sua eficiência varia de um lugar para outro e também depende do dispositivo a ser coletado (KANG, 2005). Quando não há coleta, há falta de matérias-primas para instalações de pré-processamento e processamento final e não pode ser estabelecida uma cadeia de reciclagem.

O objetivo do **pré-processamento** é separar os materiais e direcioná-los para os processos subsequentes de tratamento final adequado. Substâncias perigosas têm de ser removidas e armazenadas ou tratadas com segurança, enquanto componentes/materiais valiosos precisam ser retirados para reutilização ou ser dirigido aos processos de recuperação eficiente. Isso inclui a remoção de baterias, condensadores, etc. As baterias dos dispositivos podem ser enviadas para instalações dedicadas para a recuperação de cobalto, níquel e cobre.

As PCIs presentes nos equipamentos de TI contêm a maioria dos metais preciosos e especiais, bem como chumbo e resinas contendo retardadores de chama. Elas podem ser removidas dos dispositivos pela desmontagem manual e/ou tratamento mecânico. A remoção manual de PCIs de equipamentos de TI vai prevenir perdas de metais preciosos e especiais e oferece vantagens, sobretudo nos países em desenvolvimento com alto índice de desemprego e baixos custos laborais. Os processos mecânicos e automatizados de triagem para remover PCIs devem ser evitados, pois podem ocorrer perdas significativas de metais preciosos e especiais (HAGELÜKEN, 2006).

Após a remoção das substâncias perigosas e outros componentes especiais descritos acima, os componentes restantes, podem ser ainda mais separados por desmontagem manual ou mecânica e técnicas automatizadas de classificação.

O **tratamento final** de metais após pré-processamento tem três principais destinos. As frações de ferrosos são direcionadas para indústrias de aço para recuperação de ferro, frações de alumínio vão para fundição de alumínio, enquanto frações de cobre/chumbo, PCIs e outros que contenham frações de metais preciosos vão para fundição integrada de metais, que recuperam metais preciosos, cobre e outros metais não-ferrosos, isolando as substâncias perigosas.

As fundições de metais ferrosos e não ferrosos precisam ter cuidado com os gases que são emitidos por lidar com os componentes orgânicos presentes na sucata sob a forma de camadas de pintura e partículas plásticas ou resinas contendo retardadores de chama. Durante fusão dos materiais formam-se compostos orgânicos voláteis, podem gerar dioxinas que têm de ser controladas e impedidas de ser emitidas no ar. Como alternativa, essa sucata, como alumínio

pintado pode ser limpo antes da fundição, utilizando tecnologias apropriadas com equipamento de controle de emissão de gás (EAA, 2004).

Para tratamento das PCIs, é da maior importância que a fundição seja equipada com equipamentos de controle de emissão de gás, para evitar a formação e emissão de dioxinas. Fundições de cobre, no entanto, não são aconselháveis para tratamento de PCIs devido ao manuseio inadequado de substâncias tóxicas (tais como chumbo, cádmio ou substâncias orgânicas). Em instalações hidrometalúrgicas, as quais utilizam soluções aquosas com fortes ácidos para separar os metais, o tratamento especial e requisitos de eliminação necessários para os efluentes de lixiviação fortemente ácidos (por exemplo, descarta-se: cianeto, ácido nítrico e água régia) têm de ser diligentemente seguido para garantir operações ambientalmente corretas e evitar emissões terciárias de substâncias perigosas. Por outro lado, frações metálicas puras de cobre e outros metais preciosos sem substâncias orgânicas também podem ser tratadas em fundição de cobre ou instalações hidrometalúrgicas modernas.

Após a destruição de PCIs, as partículas resultantes formam ainda pequenos agregados de peças, por exemplo, metais ferrosos, plásticos, metais não-ferrosos e etc., não pode haver uma liberação completa das várias partes componentes sem criar volumes excessivos de poeira. Com base na densidade magnética, ou propriedades de condutividade, essas partículas podem ter uma seletividade limitada e leva a frações de saída mistas e impuras. Quando os metais de rastreamento (preciosos) estão associados com a fração de saída mista e impura eles não serão recuperados nos processos subsequentes de fusão. Por exemplo, metais preciosos no fluxo de alumínio ou plásticos (metais ferrosos) são perdidos, embora eles possam ser recuperados quando encontrados no fluxo de cobre. O impacto mecânico fragmenta o material e gera partículas finas de componentes cerâmicos, que contêm metais preciosos. Exemplos: os capacitores cerâmicos que contém Pd e Ag; e CIs que contém Au. Este pó com substâncias orgânicas é apenas disperso, e é capturado por um extrator de poeira ou é parcialmente espalhado em várias frações de saída por aderência. Particularmente para metais preciosos em PCIs as perdas podem ser consideráveis (CHANCEREL *et al.*, 2008).

Conforme mencionado anteriormente, as etapas na cadeia de reciclagem estão estreitamente interligadas em uma direção reversa. Além disso, a cadeia de reciclagem propriamente dita está ligada a outras etapas no ciclo de vida de produto, como a fabricação e montagem do produto. O que é feito no pré-processamento afeta as etapas posteriores de recuperação de material, enquanto os avanços tecnológicos na recuperação final de materiais poderiam implicar em novos requisitos para as frações de saída das etapas anteriores.

Portanto, uma estreita interação e comunicação entre os participantes interessados da cadeia de reciclagem são fundamentais para alcançar eficiência geral e para poder antecipar desenvolvimentos futuros. Além disso, também são importantes a transparência, a precisão e a verificação dos fluxos reais de materiais ao longo da cadeia de reciclagem. As autoridades e os fabricantes precisam ter certeza sobre o desempenho real das operações envolvidas na reciclagem (em alcançar conformidade ambiental e eficiência de recursos), de modo que sejam cumpridas as obrigações de responsabilidade legal das autoridades e dos fabricantes. Os fabricantes de EEE, com os resultados de uma ACV, têm meios de prevenir problemas na cadeia de reciclagem e cooperar de forma positiva com as operações de logística reversa.

Objetivos da reciclagem de e-lixo e considerações básicas para inovação

Os principais objetivos a alcançar com a reciclagem são:

- Cuidar do meio ambiente no que se refere às substâncias perigosas/tóxicas contidas no e-lixo e ao mesmo tempo, evitar emissões de gases poluidores,
- Recuperar a maior parte possível de materiais valiosos,
- Criar empresas economicamente/ ambientalmente sustentáveis,
- Considerar as implicações sociais e o contexto local das operações (por exemplo, oportunidades de emprego, qualificações disponíveis e etc.).

A identificação de tecnologias inovadoras deve basear-se em uma avaliação que meça se uma tecnologia específica contribui para alcançar estes objetivos globalmente, tendo em conta o contexto regional.

Por exemplo, uma tecnologia não pode ser considerada suficientemente inovadora quando é muito “limpa” no que diz respeito às emissões, mas é ineficiente na recuperação de materiais valiosos ou demasiadamente cara para ser aplicada na prática. O mesmo se aplica quando um processo recupera substâncias valiosas a custos atraentes, mas falhe na ocorrência de emissões perigosas. E finalmente, tecnologias inovadoras têm de ter o contexto regional em conta. O que poderia ser uma tecnologia/solução altamente eficaz, por exemplo, em um contexto Europeu Ocidental (altamente industrializado), pode ser uma abordagem completamente errada na África ou na Ásia (em desenvolvimento) e vice-versa.

A implementação de uma tecnologia de reciclagem em um país ou região não pode ser considerada inovadora por si própria. Em outra região/país com as condições necessárias (estrutura), a mesma tecnologia seria muito adequada e pode ser considerada como altamente inovadora. A este respeito, uma abordagem inovadora vai além do aspecto de tecnologia, mas

deve incluir uma combinação mais adequada dos processos em uma cadeia de reciclagem. Esta combinação de processos não está limitada a um único país/região, mas deve ser vista de uma perspectiva global/internacional. Desta forma as tecnologias mais adequadas para as diferentes fases da cadeia de reciclagem podem ser combinadas de forma ideal, utilizando as condições de enquadramento específico em cada local de acordo com os objetivos da reciclagem anteriormente citados.

Os critérios para comparar a inovação das tecnologias podem ser agrupados junto dos elementos da sustentabilidade. StEP (2009) apresenta a seguinte lista destes elementos que não é exaustiva e pode ser ainda mais elaborada:

- Meio ambiente, saúde e segurança: níveis de emissões para a atmosfera, água e solo; eficiência energética; utilização de matérias-primas, terra e água; processo de segurança e riscos de exposição tóxica devido a falhas de processo; proteção de trabalhadores; destino final dos produtos; infra-estrutura no local e etc.;
- Recurso/tecnologia de recuperação: variedade de substâncias que são recuperadas; recuperação e rendimento para os materiais individuais; classificação de materiais recuperados em relação ao valor econômico e ambiental; tecnologia utilizada; interfaces para outras etapas na cadeia; requisitos da próxima etapa de processamento e também requisitos para etapa anterior e etc.;
- Viabilidade econômica: impacto no processo de custos (e rendimentos) das etapas anteriores e posteriores na cadeia de reciclagem; qualidade e valor de mercado dos fluxos de saída; custos laborais; disponibilidade de trabalho qualificado/treinado; mercados disponíveis para frações de saída; disponibilidade e fontes de matérias-primas; infra-estrutura local; etc.;
- Conformidade social: impacto sobre o emprego e riqueza pública; infra-estrutura atual de reciclagem; envolvimento das estruturas informais existentes; legislação ambiental e etc.

A inovação no tratamento de e-lixo busca se concentrar em soluções sobre os principais critérios para melhorar a sustentabilidade global.

2.4.6.3 Mercados para tecnologias inovadoras de reciclagem de e-lixo

A tecnologia desempenha um papel crucial, especialmente na segunda e terceira etapas na cadeia de reciclagem: pré-processamento e processamento final. Após a coleta, os aparelhos são tratados a fim de obter materiais para serem reutilizados como matéria-prima.

Componentes ou frações de materiais que não sejam reutilizados ou reciclados são enviados para um lugar de eliminação adequada, devido a seus conteúdos perigosos intrínsecos ou falta de mercados secundários.

A seguir apresentam-se as tecnologias disponíveis para o pré-processamento de e-lixo.

2.4.6.4 Tecnologias de pré-processamento

A primeira etapa da cadeia de reciclagem de EEE é a coleta. Nesta etapa não existe qualquer medida especial necessária para evitar a liberação de substâncias perigosas para o meio ambiente, exceto manipulação cuidadosa dos materiais. É ainda fundamental incentivo para aumentar a coleta de equipamentos de EEE para garantir tratamento ambientalmente correto e para recuperar materiais valiosos. Falar-se-á de aparelhos de TI porque representam uma ampla gama de dispositivos de EEE. As atividades de pré-processamento estão concentradas principalmente em:

- Remoção de componentes perigosos das PCIs contendo condensadores, switchers contendo mercúrio e especialmente as baterias (*Nickel Cadmium, Nickel Metal Hybrid Lithium-Ion e Lithium Polymer*);
- Remoção e recuperação de componentes reutilizáveis ou valiosos como HDs.

Contanto que seja evitada a exposição direta à poeira, os aparelhos de TI não apresentam problemas críticos no que diz respeito à saúde e segurança ocupacional durante a etapa de pré-processamento. Conseqüentemente, a desmontagem manual pode ser uma forma muito eficaz e eficiente para recuperar o valor econômico e evitar poluição ambiental na cadeia de reciclagem de e-lixo. Além disso, a desmontagem manual tem um baixo custo de investimento, utiliza ferramentas simples e pode ser feito por pessoas com pouca ou baixa educação após uma preparação adequada e rápida. A Figura 6 mostra as partes de um disco rígido desmontado manualmente.

Figura 7: Desmontagem manual dos discos rígidos. Fonte: (S-LAB, 2008)



Na fase de pré-processamento, a desmontagem manual e semi-manual pode ser eficiente para desmontar os componentes, incluindo a fonte de alimentação, discos rígidos e controladores de disco. Ferramentas elétricas ou pneumáticas podem ser utilizadas para acelerar a velocidade de desmontagem. O benefício para a realização da desmontagem manual é que os produtos podem ser facilmente agrupados em diferentes partes, que podem reduzir o esforço de separação na fase de processamento final e também recuperar as partes reutilizáveis.

Esta abordagem eco-eficiente da desmontagem manual é preferível nas regiões com um menor custo de mão-de-obra e força de trabalho abundante. Não obstante, existem processos de pré-processamento automatizados desenvolvidos com base na destruição, seguido de separação mecânica. Tais processos usam várias etapas de destruição para reduzir o material para um tamanho inferior a 20 mm. São diferentes frações de metais. Em seguida, são extraídos os materiais destruídos separadamente: os metais ferrosos e os metais não-ferrosos. Os materiais não ferrosos ainda são separados em cobre, alumínio e etc. Os materiais restantes não metálicos são processados a fim de separar as PCIs e fios. Deve salientar-se que do ponto de vista de recursos, é melhor recuperar as PCIs funcionando corretamente antes de destruir para evitar perdas elevadas de metais preciosos. Além disso, a destruição extensiva de PCIs e plásticos pode gerar poeira contendo retardadores de chama, bem como dioxinas. A exposição dos trabalhadores a estas substâncias pode ser evitada, removendo as PCIs antes de destruí-las e tomando medidas adequadas de proteção ocupacional (NNOROM; OSIBANJO, 2008). As instalações totalmente automatizadas destroem e separam até 5 toneladas de material por hora e exigem um investimento de 1 a 2 milhões de euros para uma linha padrão de produção.

2.4.6.5 Tecnologias de processamento final

Para o processamento final das frações de EEE, primeiramente, deve ser feita uma distinção entre seus tipos: TIC (gabinetes de *desktop*, *notebook*, CRT, LCD e etc.). Para cada um destes tipos tem um conjunto específico de tecnologias que podem ser usados para recuperar os metais. Os equipamentos de processamento final que podem ser combinados em esteiras, são agrupados nas tecnologias de:

- Pirometalurgia, processos que quimicamente usam altas temperaturas para converter matérias-primas e metais, separados-os das impurezas em diferentes fases, para que metais valiosos possam ser recuperados. As elevadas temperaturas no forno ou na fundição são geradas por meio da queima de combustível ou aquecimento elétrico;
- Hidrometalurgia, processos que utilizam soluções aquosas com fortes ácidos para separar os metais. Também chamada metalurgia por via úmida, a hidrometalurgia é aplicável quando se pode dissolver uma combinação do metal desejado num solvente apropriado, que pode ser um ácido, uma base, um sal ou um solvente orgânico;
- Eletrometalurgia, processos que utilizam corrente elétrica para provocar reações químicas (eletrólise) com o objetivo de separar metais.

Habashi (1997) e Rosenquist (2004) apresentam uma visão abrangente das combinações de equipamentos e esteiras e citam que uma combinação de operações no local de processamento, muitas vezes, é necessária para alcançar a recuperação ideal e eficiente de um metal.

2.4.6.6 PCIs e pequenos dispositivos eletrônicos

A combinação de muitos metais diferentes em PCIs e pequenos dispositivos eletrônicos, juntamente com resinas/compostos orgânicos requer processos que efetivamente possam recuperar a maioria dos metais desses materiais complexos e lidar com substâncias tóxicas/perigosas simultaneamente de forma ambientalmente correta.

PCIs e pequenos dispositivos eletrônicos (encontrados em PCs *desktop*, *laptops*, telefones celulares e *players*) podem ser tratados diretamente em refinarias de fundição de cobre e metais preciosos. Estes dispositivos são misturados com outros dispositivos que contém metais preciosos tais como catalisadores, subprodutos não ferrosos industriais ou outros minérios. Normalmente, uma operação integrada após a coleta e pré-processamento, começa com a pirometalurgia: os pequenos dispositivos eletrônicos e PCIs são fundidos juntamente com outros materiais em um forno em altas temperaturas para separar os metais valiosos, enquanto

os compostos orgânicos são convertidos em energia. Posteriormente, diferentes operações de pirometalurgia, hidrometalurgia e eletrometalurgia, no centro de recuperação, são usadas na combinação mais adequada para oferecer uma recuperação ideal de materiais (StEP (2009)).

É particularmente importante, a presença de um sistema de limpeza conectado ao forno pois pode tratar ou prevenir a formação de compostos orgânicos voláteis, dioxinas e gases ácidos provenientes de substâncias orgânicas em matérias-primas, bem como qualquer poeira gerada. Devido à natureza complexa destas matérias-primas, esteiras sofisticadas são cruciais para fundição integrada e refinação. Essas instalações existem na Bélgica, Alemanha, Japão e Suécia (LEHNER, 1998), (VELDHUIZEN, 1994), as PCIs e outras frações são enviadas de centros de fornecedores globais. Essa refinaria e fundição integrada recuperam metais para o mercado (por exemplo, Au, Ag, Pd, Pt, Rh, Ir, Ru, Cu, Pb, Ni, Sn, Bi, In, Se, Te, Sb). No total mais de 200 diferentes tipos de matérias-primas, e até 350.000 toneladas, são processadas anualmente. Um processo integrado atinge um nível alto de recuperações de metais preciosos do e-lixo. Hagelüken (2006) relata uma recuperação de mais de 95% de ouro. E, as substâncias perigosas são convertidas em produtos úteis (como Pb, Sb) ou capturados e dispostos de forma ambientalmente correta.

StEP (2009) relata que as principais fundições de cobre, que estão presentes em países em desenvolvimento, como China, Índia e África do Sul, poderiam ser melhoradas para tratar os materiais com alto teor de compostos orgânicos, como as PCIs e dispositivos pequenos, instalando as medidas de proteção para gases poluentes. No entanto, isso exigiria investimentos avultados em equipamentos, experiência adquirida (*know how*), e um controle exaustivo das operações. Sem essas medidas no tratamento de gases poluentes, gerenciamento de águas residuais e pirometalurgia, não é adequado tratar as PCIs ou frações de e-lixo similares.

Observa-se que algumas pesquisas apontam como baratas (em relação ao menor custo de investimento) apenas as operações de hidrometalurgia e eletrometalurgia, relativamente fáceis de implementar e com operações de baixo impacto ambiental. Outras, porém argumentam que a hidrometalurgia e processos de eletrólise produzem grandes quantidades de resíduos líquidos ácidos, que precisam ser eliminados de forma correta ((LI *et al.*, 2007) apud StEP, 2009)). São assinalados alguns riscos considerando somente processos de hidrometalurgia para PCIs:

- A excessiva trituração pode liberar poeiras contendo retardadores de chama bromados. Altas temperaturas durante a destruição podem causar o desenvolvimento de dioxinas

tão perigosas como o banido pesticida Dicloro-Difenil-Tricloroetano (DDT). Assim, devem ser tomadas as medidas adequadas para proteção dos trabalhadores e cuidados com o meio ambiente (NNOROM; OSIBANJO, 2008);

- As medidas de controle e tratamento de gases emitidos são necessárias. A lixiviação de PCIs com ácido nítrico ou água régia provoca a liberação de vapores de óxido de azoto e vapores de cloro (CUI; ZHANG, 2008);
- A manipulação dos resíduos e sub-produtos residuais são minimamente ou insuficientemente avaliada e considerada.

Tendo tudo isto em conta os processos de hidrometalurgia pura não são tão fáceis como frequentemente apresentados, especialmente nas condições dos países em desenvolvimento. Estes, geralmente exigirão medidas significativas de tecnologia e precaução para evitar emissões perigosas, bem como a utilização adicional de processo de pirometalurgia para recuperação ideal de metais.

Segundo StEP (2009) não há nenhuma tecnologia industrial disponível, que seja considerada mais adequada em termos ambientais. Embora existam empresas que tratam PCIs usando métodos de hidrometalurgia e tentem fazer de forma ambientalmente correta. Infelizmente o relatório observa que não há também nenhuma informação de domínio público sobre o desempenho de sua eficiência em relação aos cuidados com o meio ambiente.

2.4.6.7 Sustentabilidade dos processos atuais de reciclagem versus tecnologias inovadoras

Todos os países em desenvolvimento selecionados no relatório StEP (2009) caracterizam-se por atividades informais na cadeia de reciclagem de e-lixo. A coleta, pré-processamento e outros processos estão presentes em todos os países. Enquanto em alguns países, estas atividades são realizadas por indivíduos (por exemplo, África do Sul, Quênia, Uganda, Marrocos, Senegal e Peru), países como a Índia e a China revelaram uma grande organização do setor informal. O material reciclado sempre volta à cadeia de produção devido à escassez de recursos de metais preciosos. Os locais de reciclagem informais são sempre encontrados adjacentes aos centros de produção de EEE.

Em países como a Índia, China e África do Sul, as taxas elevadas de coleta de e-lixo são realizadas pelos coletores informais. A maior parte do e-lixo é comercializada para recicladores informais, que priorizam a recuperação dos componentes valiosos provenientes do processo de reciclagem. A coleta informal não tem grandes impactos ambientais negativos

e tem benefícios econômicos e sociais para os pobres. Assim, a inclusão da coleta informal pode ser parte de um sistema sustentável de reciclagem (ROCHAT *et al.*, 2008). No Brasil, a PNRS estabelece que a coleta deve incluir os catadores e enfatiza a logística reversa como um instrumento de geração de renda para estes trabalhadores.

Os processos de reciclagem informais aplicam desmontagem manual como tratamento primário para separar fisicamente os componentes e materiais heterogêneos com ferramentas simples como martelos, chaves de fendas e etc. Após a desmontagem, os componentes em funcionamento são imediatamente enviados para reutilização e/ou são vendidos no mercado de segunda mão. O restante dos componentes valiosos, como as partes contendo cobre, alumínio, aço, plásticos, e placas de circuito são classificados para um novo tratamento. Estes processos de desmontagem normalmente não têm impactos negativos para o meio ambiente. Assim como a coleta, a desmontagem manual de EEE tem benefícios econômicos e sociais para os pobres (KELLER, 2006).

No entanto, apesar dos benefícios sociais, no processo de desmontagem informal há queima de e-lixo a céu aberto para recuperar metais como cobre, aço, alumínio e outros metais, amplamente usada em alguns países em desenvolvimento. Os impactos negativos desta prática foram documentados em algumas publicações (SEPÚLVEDA; SCHLUEP, 2005). O setor informal na Índia e na China é conhecido por suas técnicas prejudiciais amplamente aplicadas para retirar a solda de PCIs e posterior lixiviação de ouro (KELLER, 2006). Vídeos divulgados na mídia mostram que para tirar a solda de placas de circuito são usadas churrasqueiras a carvão.

O descarte a céu aberto de resíduos de EEE, destacado e fotografado pela mídia, como mostra a Figura 8, é conhecido em todos os países e tem causado enormes prejuízos para os ecossistemas e a saúde dos moradores (SEPÚLVEDA; SCHLUEP, 2005).

Figura 8: resíduos de EEE descartados a céu aberto. Fonte: (TETRISORGANIZA, 2011)



No estado de São Paulo, no Brasil, estão sendo instaladas empresas de reciclagem formais para o tratamento de frações metálicas como: cobre, aço, alumínio e etc. Pedacos metálicos de e-lixo (como fios de cobre) geralmente são tratados nestas instalações juntamente com pedacos de metais mistos provenientes de outras fontes (CARVALHO *et al.*, 2010). Enquanto estas instalações podem ser eficazes e ambientalmente corretas para frações predominantemente metálicas, não devem ser utilizadas para PCIs ou outras frações que contêm retardadores de chama contendo ou flúor, cloro, iodo, bromo ou estanho, a menos que hajam equipamentos de controle e tratamento de gases poluentes.

Pode-se notar que a coleta informal e desmontagem manual são atividades que não precisam necessariamente ser transformadas em processos formalizados e muitas vezes têm vantagens em relação a introdução de novas tecnologias do ponto de vista da sustentabilidade. O sistema de coleta informal é bastante eficiente em países como a Índia e a China porque os catadores informais diariamente vão a cada comunidade da cidade para recolher resíduos de casa em casa. Os catadores são flexíveis em seus horários de trabalho, pagam um preço razoável para os consumidores e são encarregados de todo o trabalho de transporte. Esta abordagem não só traz receitas diárias para estes catadores informais, mas também contribui para as taxas elevadas de coleta por não exercer pressão extra sobre os consumidores para enviar os seus resíduos para os pontos atribuídos. Este cenário funciona bem nestes países e no Brasil os

futuros sistemas de logística reversa, propostas pela lei PNRS deverão dar preferência aos grupos de catadores informais (LEITE, 2010).

Sobre tecnologias de pré-processamento, as técnicas manuais são as preferidas pela maioria dos recicladores informais. Esta abordagem é preferível nos países em desenvolvimento pelo custo do trabalho, comparativamente, baixo e abundante. A desmontagem manual serve como uma boa preparação para a reutilização e a próxima fase de reciclagem, o processamento final.

Todas as outras atividades informais de processamento final de e-lixo tem maiores impactos ambientais e sociais negativos que as formais, usando tecnologias inovadoras. As tecnologias primitivas adotadas pelos recicladores informais para extrair matéria-prima de PCIs, cabos e outros EEE são perigosas para o meio ambiente e também alcançam taxas de recuperação de materiais muito baixas. Nesta fase, não há um grande espaço para melhoria. A introdução de equipamentos e métodos de fácil operação, formalizando gradualmente os recicladores informais nas zonas industriais centralizadas são abordagens mais adequadas, que permitem melhoria na sustentabilidade da reciclagem de EEE.

A aplicação das tecnologias de reciclagem em operações formalizadas tem por um lado a existência de tecnologias sustentáveis, que muitas vezes são resultados de iniciativas individuais ou corporativas emparelhadas com programas de responsabilidade social ou desenvolvimento nacional ou internacional. Por outro lado, há uma série de operações ineficientes e insustentáveis, que carecem de padrões de legislação ambiental e práticas adequadas.

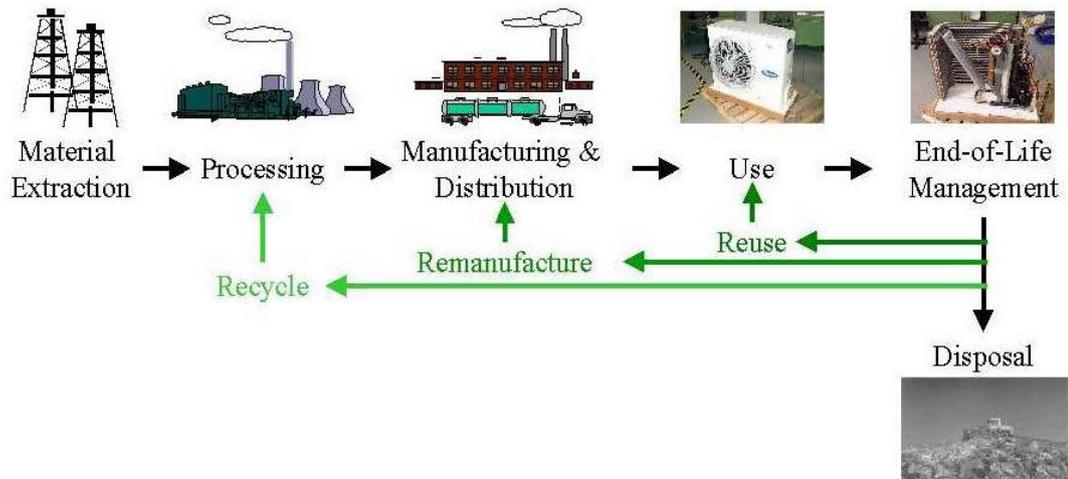
De acordo com StEP (2009), estimativas de volumes de e-lixo gerados para 2020 nos países selecionados na Ásia, África e América Latina sugerem que estes teriam um potencial de adaptação das tecnologias de pré-processamento. Considerando que a desmontagem e tecnologias de classificação manual já são aplicadas em alguns dos países. Não há nenhuma indicação de que sejam aplicadas as outras tecnologias mais avançadas nestes locais.

Todas as tecnologias inovadoras discutidas neste tópico podem ser usadas nas atividades de logística reversa, citadas por Ravi (2005). Além disto, havendo um trabalho coordenado com os profissionais que fazem a ACV dos EEE com as empresas de reciclagem, a utilização destas tecnologias será mais eficiente em seus objetivos de recuperação de matérias-primas.

2.4.7 Logística reversa e ACV

Para finalizar a seção sobre logística reversa, se conclui que os impactos ambientais do descarte indevido de EEE podem ser de difícil solução. De acordo com a Figura 9, há três possíveis formas de disposição final para os EEE: o aterro de resíduos sólidos, o reuso e/ou a reciclagem; essas duas últimas são as mais recomendáveis para o meio ambiente.

Figura 9: Exemplo de ciclo de vida de um produto. Fonte: (SCHABBACH, 2001)



Na ACV, pode-se tomar uma série de decisões relacionadas com a questão ambiental, para ser incorporada ao processo de manufatura. Começando no momento do projeto do produto, quando se determina quais matérias-primas podem ser utilizadas e que causarão menos impactos ambientais no produto final; na definição de processo produtivo, ao se escolher quais equipamentos e procedimentos serão mais eficientes em termos de redução do consumo energético necessário à fabricação; e na definição de que tipo de embalagem será mais adequado sob a óptica ambiental. Finalmente se identifica uma maior ligação entre a logística reversa e a ACV na estrutura das operações logísticas a serem consideradas, por exemplo:

- Em como estruturar o processo de coleta dos materiais que serão reciclados ou recuperados: usando a terceirização ou incentivando a formação de cooperativa de catadores (no caso de países como o Brasil);
- Na escolha de qual forma de transporte a ser utilizada: aquela que incorpora inclusão social para volumes pequenos em caso contrário, o uso de trens preferivelmente;
- Na escolha de como será feita a destinação final dos produtos de pós-consumo após avaliação de utilidade: aterro, reciclagem ou incineração.

Podemos perceber que os impactos ambientais podem ser avaliados antes mesmo do início do processo de fabricação de produtos, e que as considerações sobre a logística reversa devem ser previstas e realimentadas antes de dar início ao processo produtivo em si. Ou seja, é possível definirmos os requisitos dos sistemas logísticos reversos antes mesmo da sua operacionalização efetiva, a partir da utilização da ACV.

Segundo Razzolini Filho e Berté (2009) “quando as empresas não conduzem seus processos produtivos dessa forma, elas cometem um ato que podemos chamar de irresponsabilidade socioambiental, postura que os consumidores estão começando a ver como fatores contribuintes para a desvalorização de produtos no mercado”.

CAPÍTULO 3 - ESTUDO DE CASO

Neste Capítulo, são apresentados os resultados da primeira e segunda pesquisas do tipo exploratória/ação aplicadas as IES, universo de instituições responsáveis pela formação de profissionais na cidade de Campos dos Goytacazes-RJ, região norte do estado do Rio de Janeiro. Estes resultados pretendem ser uma contribuição para um diagnóstico qualitativo da situação do e-lixo nas IES da cidade, constituindo o estudo de caso.

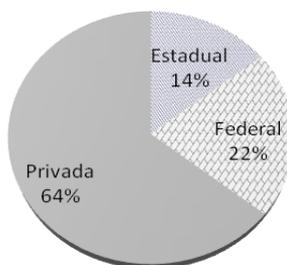
Segundo a Prefeitura Municipal de Campos dos Goytacazes (2010), a cidade é considerada um pólo universitário do estado do Rio de Janeiro, onde convergem estudantes de cidades vizinhas se tornando moradores da cidade, enquanto matriculados nos cursos.

A primeira pesquisa foi realizada no período de 15 de Março a 30 de Abril de 2010 e entrevistaram-se os gestores de TI nas IES na cidade com base em um questionário exploratório com perguntas abertas e fechadas. O questionário usado para entrevista está detalhado no Apêndice A. Pelas características da cidade, coletaram-se dados de toda população que envolve 14 IES, com o que se despertaram reflexões da situação do e-lixo, nestes locais.

Ao todo foram feitas 19 entrevistas, embora existam 14 IES diferentes na cidade. Em algumas IES foram realizadas mais de uma entrevista, em razão ao número de campus ou à quantidade de integrantes da instituição que foi dividida à conveniência para duplicá-las.

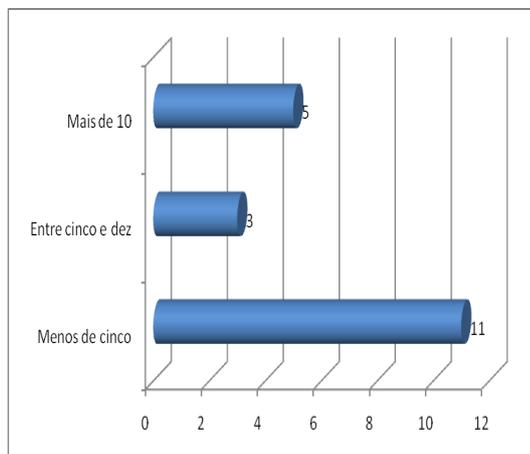
No Gráfico 9 se observa a grande quantidade de IES privadas prestando serviço a uma população de mais de quatrocentos mil habitantes, estimativa da Prefeitura Municipal de Campos dos Goytacazes (2010) para 2010. Cabe mencionar que 69% dos PCs em uso estão nas IES públicas estaduais e federais e que 31% estão nas IES privadas.

Gráfico 9: O regime orçamentário das IES. Esfera da Instituição



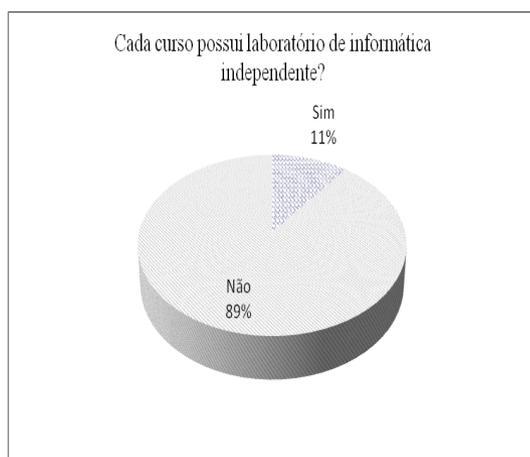
De acordo com o Gráfico 10, a maioria das IES possui menos de cinco laboratórios de Informática para atender as necessidades computacionais dos seus alunos.

Gráfico 10: Quantidade de Laboratórios de Informática em cada IES



Verifica-se no Gráfico 11 que a maioria dos cursos oferecidos nas IES compartilha a utilização de laboratórios de informática. Neste caso, é grande a demanda de uso dos PCs e periféricos e causa maior frequência de manutenção, conseqüentemente compras e descarte de peças de reposição para se ter os equipamentos em funcionamento.

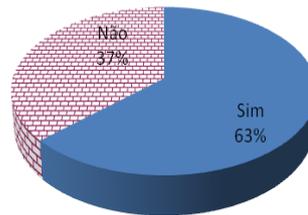
Gráfico 11: A utilização compartilhada dos laboratórios de Informática.



No Gráfico 12, se observa que apesar da maior parte das instituições ter definido um lugar para guardar os equipamentos em desuso (ainda sem condições de dar baixa e ser considerado como e-lixo) não foi reportada uma política institucional de tratamento adequado para este tipo de resíduo; de forma que se planeje o aproveitamento do que for possível, fazendo um condicionamento das peças; um encaminhamento para reciclagem das peças; ou dando um destino final correto.

Gráfico 12: local para armazenamento do e-lixo.

A instituição definiu um ambiente de armazenamento do e-lixo?



A Figura 10 mostra PCs *desktop* e periféricos em desuso espalhados pelas salas das IES que não tem diretrizes de armazenamento. Em termos gerais, a gestão dos eletrônicos em desuso nas IES é de responsabilidade do setor de patrimônio e/ou do almoxarifado. Todos os entrevistados nas IES reportaram a falta de um sistema de gestão institucional do e-lixo.

Figura 10: Fotos de e-lixo espalhados pelas salas de algumas IES.



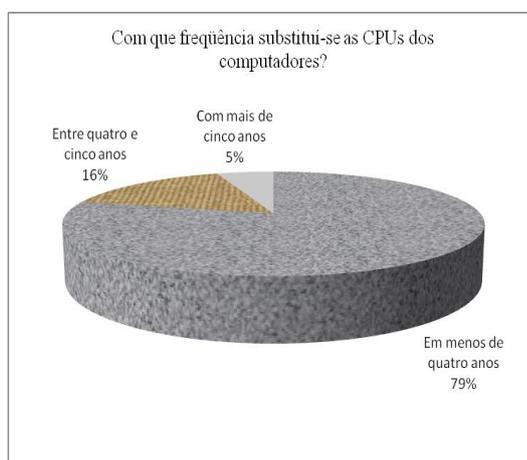
O setor de patrimônio de algumas das IES mostrou, ainda, pequenas salas onde se armazenam PCs e periféricos em desuso como é mostrado na Figura 11.

Figura 11: Fotos de salas onde se armazenam PCs e periféricos em algumas IES.



O tempo de obsolescência dos EEE é cada vez menor (StEP, 2009), como resultado dos avanços tecnológicos. Esta afirmação pode ser verificada no Gráfico 13 que mostra que 79% dos entrevistados responderam que atualizam os PCs em menos de quatro anos.

Gráfico 13: Tempo em que as IES fazem a substituição de CPUs.



França e Morales (2010) relatam que algumas instituições, como o Instituto Federal Fluminense (IFF), reaproveitam o seu e-lixo recondicionando PCs com configurações mínimas capazes de serem usadas como terminais através do recurso, chamado na informática, *terminal server*. Utilizando o sistema operacional *Linux*, um software livre, monta laboratórios de informática, para seus próprios alunos, com custo material praticamente zero em software e hardware, chamando-o de “Micródro””; mostrado na Figura 12. Além disso, as peças de PCs que não são aproveitadas nos “Micródro” servem de uso didático em seus laboratórios de eletrônica como mostra a Figura 13.

Figura 12: Fotos do Micródomo no IFF – Campus Guarus



Figura 13: Fotos dos Laboratórios de Eletrônica no IFF – Campus Guarus.



Um aproveitamento de equipamentos ou peças em desuso, declarado no Gráfico 14, se refere a práticas individuais de reuso, conhecidas pelos profissionais de informática, como canibalização. Confirma-se assim uma falta de política para resíduos de EEE nas IES.

O percentual de respostas “sim” do Gráfico 14 é de 53%, porém não há qualquer vantagem estratégica para as IES quanto à responsabilidade ambiental e social porque são atividades isoladas de cada técnico responsável pelo inventário e/ou manutenção dos equipamentos de TI.

Gráfico 14: Aproveitamento de peças de EEE em desuso.

A instituição aproveita peças de equipamentos inativos?



O Gráfico 15 mostra que guardar o e-lixo é a opção mais utilizada. Na maioria dos casos isto ocorre pelas dificuldades em se dar baixa a um bem que tenha sido patrimoniado.

Em entrevista a Gerência de Recursos Computacionais da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) informou que quando o equipamento tem um laudo de obsoleto, mas ainda funciona, a universidade pode leiloá-lo por duas vezes, caso não consiga interessados o equipamento é guardado. Assinalou-se que a maior dificuldade para descartar os EEE é o fato de estarem patrimoniados e seus agentes patrimoniais terão que dar conta dos mesmos se houver uma auditoria do governo estadual. Atualmente CDs, disquetes e periféricos estão sendo encaminhados para a coleta seletiva – UENF pré-recicla, operacionalizada pelo projeto de extensão do Laboratório de Engenharia de Produção no campus da IES. A equipe do projeto encaminha regularmente os materiais após separação como se mostra na Figura 14.

Figura 14: Material coletado, a preparação para triagem dos periféricos e materiais separados (como: plásticos, metais e papéis)



É interessante citar que em uma IES pesquisada manifestou que a responsabilidade com os produtos tecnológicos e todo serviço de informática é administrada por uma empresa terceirizada, portanto os PCs e periféricos são todos alugados. Essa empresa é quem cuida da manutenção e se desconhece a maneira como é feito o descarte dos equipamentos.

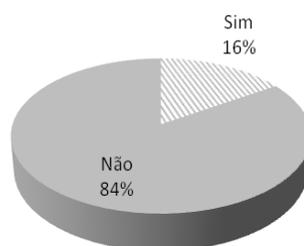
Gráfico 15: Destino do material eletrônico em desuso nas IES.



Há pouca preocupação em se ter um setor específico para gerenciar o e-lixo como mostra o Gráfico 16, mesmo havendo um reconhecimento de que é um sério problema, pois ocupa espaço útil, sempre em falta, e gera riscos ambientais e à saúde humana, em caso de incêndio ou alagamento.

Gráfico 16: Existência de um setor para gestão do e-lixo.

Existe um setor responsável para gerenciar o e-lixo?

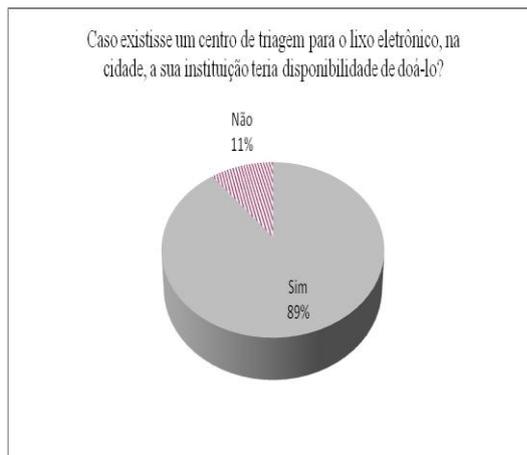


A situação do e-lixo nas IES de Campos dos Goytacazes-RJ após as primeiras entrevistas, em maio de 2010, pode ser resumida da seguinte forma:

- O material de EEE descartado, e-lixo, se acumula em salas das próprias IES;
- Detectaram-se iniciativas individuais para reuso de partes do e-lixo, e poucas alternativas de sua eliminação;
- Nenhum planejamento de solução prevista a longo prazo, embora a mídia a partir de Dezembro de 2009 divulga riscos.

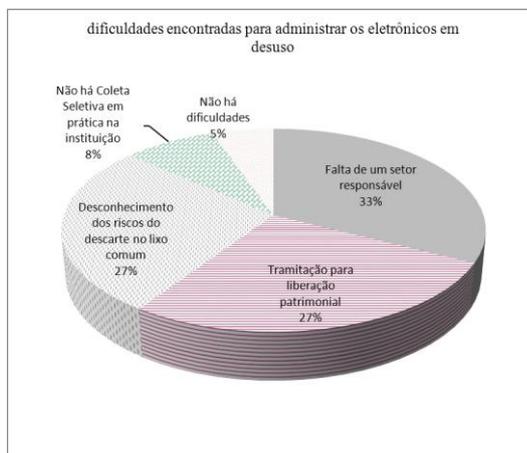
Com o objetivo de verificar os efeitos da primeira entrevista realizada e analisar novas questões sobre o e-lixo nas IES, tais como: a IES teria disponibilidade de doar seu e-lixo? Quais as dificuldades que a IES possui para administrar seu e-lixo? E etc. Após cinco meses, em Setembro de 2010, entrevistaram-se as mesmas 14 IES, encontrando-se os mesmos 19 gestores de TI. O questionário usado como base para entrevista está detalhado no Apêndice B. O Gráfico 17 mostra que a maior parte dos gestores de TI das IES tem interesse em doar seus eletrônicos em desuso. Apenas 11% dos entrevistados não acham esta alternativa necessária, por considerarem que este tipo de equipamento vem recebendo tratamento adequado por eles.

Gráfico 17: Disponibilidade de doação do e-lixo.



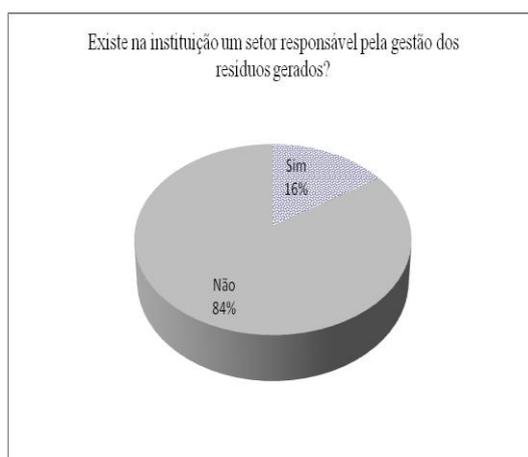
Em relação às dificuldades na gestão do e-lixo nas IES, o Gráfico 18 mostra que 33% dos entrevistados acredita que a existência de um setor responsável para o e-lixo ajudaria numa melhor administração, reduzindo espaço utilizado por este material e riscos. Em uma das IES entrevistadas foi mencionado que haverá uma comissão de baixa dos bens eletrônicos para facilitar a tramitação que permitirá dar um final correto ao equipamento em desuso. Ainda, em algumas entrevistas acrescentou-se a alternativa “não há dificuldades para a gestão do e-lixo” porque se considerou que tudo que já podia ser feito para administrar os equipamentos em desuso já está sendo executado.

Gráfico 18: Fatores que dificultam a gestão do e-lixo pelas IES



O Gráfico 19 mostra que 84% das IES pesquisadas não possui um setor responsável para a gestão do e-lixo e 16% dos entrevistados atribuem a setores como: patrimônio e gerência de TI a responsabilidade para este trabalho. Como justificativa para este resultado foi mencionado - “representariam custos adicionais criar um setor responsável para a gestão do e-lixo; e estas tarefas podem ser atribuídas a setores já existentes”.

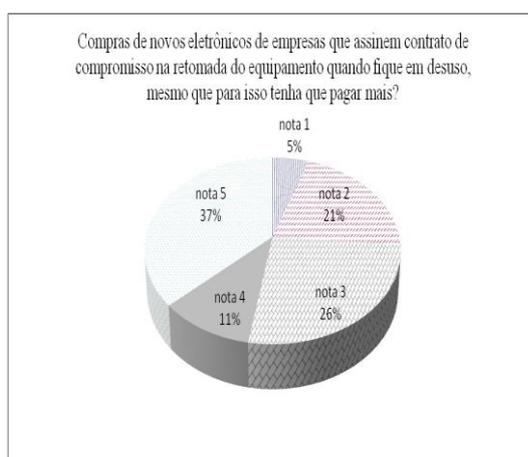
Gráfico 19: Existência de um setor para gestão do e-lixo.



Os gráficos a seguir mostram a importância que os gestores de TI, nas IES, dariam a ações que podem diminuir os efeitos negativos do problema do e-lixo, relativos a 6 questões da entrevista. Estas ações já são implementadas ou estão em fase de planejamento em algumas IES no mundo, como foi mencionado na seção 2.1. Os entrevistados foram solicitados a atribuir notas de 1 a 5 para avaliar a importância de tais ações; sendo que 1 representa a nota de menor importância e 5 a nota de maior importância.

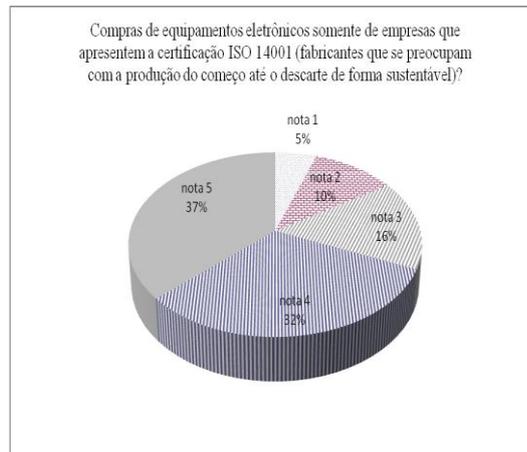
Nota-se através do Gráfico 20 que 74% (notas ≥ 3) dos entrevistados consideram relevante a compra de fornecedores que “retomem” seus produtos no fim de vida útil. Porém, os entrevistados continuarão privilegiando os menores preços de compra. Em uma IES pública foi citado que não havia, no momento, como intervir na compra de equipamentos para acrescentar mais um critério de aquisição de bens, pois se utiliza um sistema de pregão eletrônico do governo federal. De acordo com o coeficiente de variação de Pearson (medida de dispersão relativa) calculado em 0.38, estes dados podem ser considerados razoavelmente homogêneos.

Gráfico 20: Notas atribuídas para a questão de contratos de compras com retomadas de PCs no final da vida útil



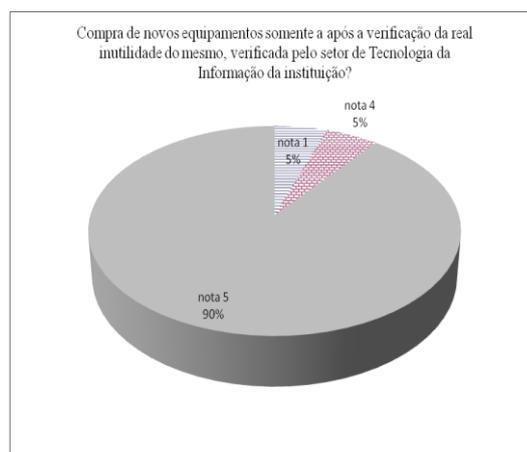
No Gráfico 21, 69% dos gestores atribuíram notas maiores que três a ação de compra dos EEE provenientes de empresas com certificações que garantam uma produção e tratamento verde. De acordo com o coeficiente de variação de Pearson calculado em 0.32, estes dados podem ser considerados razoavelmente homogêneos.

Gráfico 21: Notas atribuídas na questão de compras de fornecedores com certificação ambiental



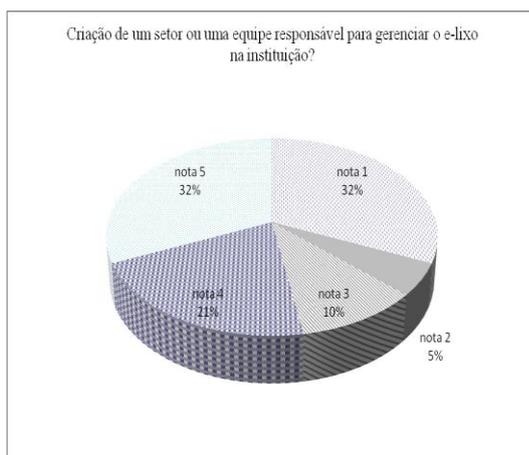
Como o objetivo em toda organização é diminuir os custos, porque os orçamentos são limitados, o Gráfico 22 exibe que os gestores só compram equipamentos quando há necessidade, fugindo da regra geral do consumidor individual que na maioria das vezes compra desenfreadamente a cada novo lançamento de equipamentos de TI, fato já mencionado neste trabalho. De acordo com o coeficiente de variação de Pearson calculado em 0.20, estes dados podem ser considerados razoavelmente homogêneos. Portanto, nota-se que a questão avaliada tem uma forte tendência a ser praticada.

Gráfico 22: Notas atribuídas na questão de compras de equipamentos eletrônicos quando necessárias e avaliadas pelo setor de TI



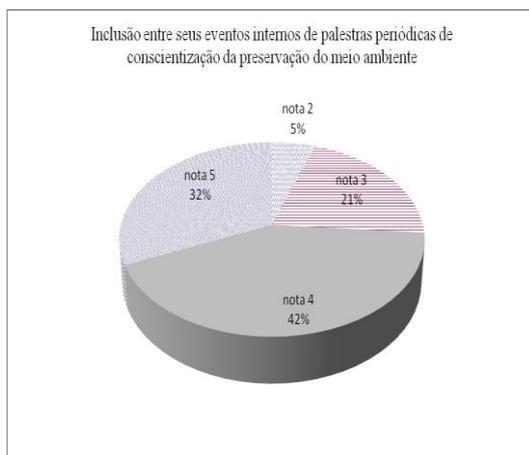
Do total de entrevistados, 63% vêm com bons olhos a criação de um setor responsável pela administração do e-lixo nas IES como mostra o Gráfico 23. Alguns atribuíram nota 1 neste quesito, por entenderem que já existe o setor de gestão de e-lixo em sua IES, tais como o setor de patrimônio, a prefeitura do campus e até mesmo foi cogitada a relevância do custo em se criar mais um setor na instituição.

Gráfico 23: Notas atribuídas na questão de criação de um setor responsável para gerenciar o e-lixo na IES



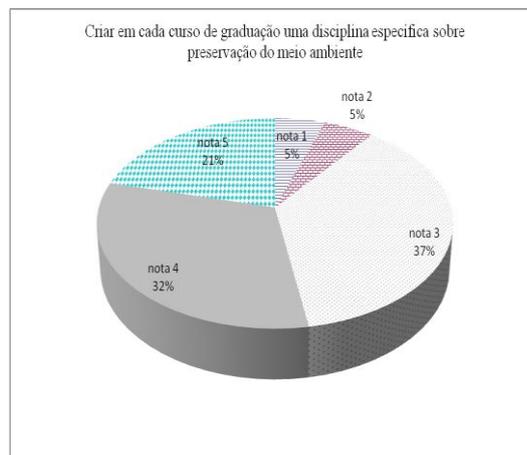
Com percentual de 75% - somatório das notas 4 e 5, o Gráfico 24 mostra que os gestores vêm a importância da inclusão de palestras de conscientização em relação a preservação do meio ambiente. Estas palestras fazem parte de uma educação ambiental nas IES e objetivando-se uma mudança de hábitos, deve ser continuada. De acordo com o coeficiente de variação calculado em 0.22, estes dados podem ser considerados razoavelmente homogêneos e há uma forte tendência à prática relacionada a esta questão.

Gráfico 24: Notas atribuídas na questão de inclusão de palestras sobre o assunto de preservação do meio ambiente nas IES



De acordo com Ogunseitan *et al.* (2009) a inserção de disciplinas que envolvam uma junção das práticas da profissão que habilita o curso e os cuidados com o meio ambiente é fundamental na formação de profissionais cômicos de seus deveres específicos em conformidade com as leis ambientais. O Gráfico 25 exibe os percentuais das notas que os entrevistados deram a este quesito. De acordo com o Coeficiente de Variação de Pearson calculado em 0.30, estes dados podem ser considerados razoavelmente homogêneos.

Gráfico 25: Notas atribuídas na questão de inclusão de disciplinas sobre o assunto de preservação do meio ambiente nos cursos oferecidos pelas IES



O tipo de investigação realizada neste trabalho, definida no Capítulo 1 como pesquisa-ação confirmou na prática que na medida em que houve divulgação e realização desta pesquisa, algumas decisões foram tomadas em pró de melhorias com o armazenamento e tratamento do e-lixo. Como exemplo: na UENF começou-se a incentivar a retirada do e-lixo, quando liberado patrimonialmente, das salas dos usuários para um local de armazenagem específico. Nas IES da cidade, pelo que foi levantado nas entrevistas, há aproximadamente 4000 PCs. Sendo a estimativa de tempo de vida útil de PC de 2 a 4 anos, somado a outros dispositivos de TIC (por exemplo: celulares, de aproximadamente 20000 estudantes universitários) com a vida útil de 8 a 12 meses, conformam um quadro preocupante em relação à situação do futuro descarte destes produtos, caso não haja iniciativas para canalizar soluções sustentáveis para tal.

CAPITULO 4 - PROPOSTA DE UM CENTRO DE ARMAZENAGEM E TRIAGEM DE PCs DESKTOP PARA IES

4.1 Introdução

Como já foi mencionado neste trabalho, em todo o mundo, se descarta de 20 a 50 milhões de toneladas de EEE a cada ano. Segundo Umicore (2010) ele já representa 5% do lixo no mundo. Mas a notícia não é completamente ruim. Como qualquer problema de mercado para o qual há atualmente poucas alternativas de boa solução, o desafio do e-lixo também representa uma grande oportunidade. A maioria dos EEE obsoletos tem valor devido ao ouro, prata e outros metais preciosos que são componentes chave para a produção de novos equipamentos. Esta questão ganha cada vez mais atenção devido a possível escassez de alguns destes metais e de novas leis ambientais que estão sendo discutidas e aprovadas pelo mundo, como foi a PNRS, no Brasil. Empresas que podem resolver o problema de fim da vida útil dos produtos são e serão bem vistas no mercado por oferecerem soluções socialmente e ambientalmente responsáveis.

Enquanto as empresas do país não tornam efetivas as práticas enunciadas na PNRS por estarem no prazo de adaptação, a proposta é elaborar um plano de ação para redução/reutilização/remanufatura/reciclagem do e-lixo nas IES de Campos dos Goytacazes – RJ, nos moldes do CEDIR na USP.

A fim de implementá-lo considera-se necessário três níveis da rede de execução, chamada cadeia de suprimento pós-consumo para PCs *desktop* como mostra a Figura 15:

Figura 15: Nós da cadeia de suprimento pós-consumo para PCs *desktop*. Fonte: adaptado de (S-LAB, 2008)



Downstream – Nó ou elo inicial para projetar metas e planos de ação de acompanhamento do destino do e-lixo e de adoção dos princípios de 4R: redução, remanufatura, reutilização, reciclagem e um esquema de fluxo.

Midstream – Nó ou elo intermediário que se ocupará de organizar o mercado local (fornecedores e comerciantes) com o objetivo de incentivar a reutilização.

Upstream – Nó ou elo alvo, para trabalhar com os fornecedores com o objetivo de minimizar a quantidade de e-lixo, por exemplo, contratos para “retomar” os EEE ou identificar empresas que incluam remanufaturas de PCs.

4.2 Objetivo da proposta

Optou-se na proposta, pela concentração no nó *downstream*: coleta, pré-processamento e encaminhamento para processamento final do e-lixo de forma sustentável. Decidiu-se limitar inicialmente aos PCs nas IES, como já foi abordado no capítulo 1. Se bem-sucedido, a proposta serviria como uma prova de que poderá ser aplicado em outras classes de instituições, com o perfil previamente aferido. Um centro de armazenagem e triagem como proposto, se constituiria em um centro de distribuição na cadeia de logística reversa definida na PNRS.

4.3 Desafios identificados para a implementação do centro de armazenagem e triagem para e-lixo

Foram identificados alguns desafios para elaborar a proposta no decorrer deste trabalho. São eles:

- Definição de um local de centralização para armazenagem e classificação do e-lixo. O IFF, a IES que é parceira da proposta e quem está verificando uma forma de iniciar o armazenagem no seu campus em Guarus, bairro da cidade de Campos dos Goytacazes-RJ;
- O sistema de estoque das IES não reflete o real inventário de EEE e/ou e-lixo gerados neles;
- Identificação de incentivos para promover o encaminhamento e a reutilização dos EEE;
- Identificação de caminhos e meios para escoar o material coletado e separado, direcionando-os para uma reciclagem acertada.

4.4 Instruções gerais para implantação de um Centro de Armazenagem e Triagem nas IES

Segundo S-lab (2008), embora as recomendações para as IES sejam específicas para seu problema de e-lixo, é possível converter esses ensinamentos em um plano de ação genérico, de modo que, qualquer empresa de grande porte poderia aplicá-lo; começar a compreender e dar uma solução ao problema de seu e-lixo. Essas ações podem ser assim resumidas:

1. Criar uma equipe interessada em encontrar uma solução sustentável para o e-lixo;
2. Definir o objetivo da ação, por exemplo, coleta e triagem ou triagem e desmontagem;
3. Levantamento de dados dos métodos atuais de aquisição de EEE e de sua eliminação;
4. Identificar motivos que incentivem o escoamento sustentável de e-lixo;
5. Identificar parceiros adequados para a eliminação de e-lixo;
6. Determinar a solução mais adequada para a gestão de e-lixo;
7. Criar um projeto-piloto, com metas e prazos definidos e cadastrar aliados.

Criar uma equipe de sustentabilidade

Para começar a elaboração da proposta do centro é preciso uma equipe de pessoas altamente motivadas e de mesma opinião, que possam coletar informações sobre a situação atual do e-lixo na instituição e criar um plano de ação e execução.

Definir o objetivo da ação

Como nas IES, em cada organização o problema do e-lixo tem os nós: upstream, midstream e downstream. Deve-se escolher onde concentrar a dedicação, reconhecendo que cada etapa exigirá diferentes parceiros internos e externos e irá criar impacto em uma escala de tempo diferente.

O desafio do nó *upstream* é a questão de como transformar a forma de compra para que futuros EEE entrem no sistema o mais sustentável possível. Isso exigirá parcerias com o departamento de compras dentro da IES e identificação de fornecedores externos de EEE. Mesmo a mais profunda transformação nos contratos de compras só irão gerar mudanças em um prazo de mais de 2 anos; após os critérios de compras sejam negociados, as primeiras aquisições sustentáveis serão feitas e os equipamentos recém-adquiridos esgotem a sua vida útil e precisem ser descartados.

O desafio do nó *midstream* está na questão de como reutilizar, como realocar corretamente os recursos dentro da IES para gerar o mínimo de e-lixo possível. Isso exigirá a integração de todos os departamentos que atualmente usam EEE e os escritórios/laboratórios que efetuem a compra, fiscalizem e os controlem no estoque. O efeito pode ser quase imediato.

O desafio do nó *downstream* está em como desenvolver um sistema para a cadeia de coleta, pré-processamento e encaminhamento até o processamento final seguro para o e-lixo de uma forma sustentável. Isso exigirá desenvolver fortes relações com parceiros externos. O nó *downstream*, embora mais desafiador, também tem o potencial para produzir resultados mais imediatos e visíveis, tais como: recepção da coleta, triagem e avaliação inicial. O impulso

positivo será percebido quando o e-lixo que anteriormente estava situado em armários ou indo para o lixo comum começa a ser enviado para um destino adequado.

Levantamento de dados atuais para aquisição de EEE e sua eliminação

Depois da escolha do objetivo da proposta, o próximo passo deve ser o levantamento de dados recentes, de como os EEE se movimentam no sistema administrativo. A equipe de sustentabilidade deve conhecer a forma de aquisição de EEE, decisão de descarte e o caminho de sua eliminação. A equipe também deverá estimar o volume total do e-lixo que gera ou gerará todo o sistema. No processo, deve-se adquirir o conhecimento e uma visão clara das classes de e-lixo que devem ser tratadas, levantar estatística da frequência da coleta e montantes coletados e estimar o processo que os diversos tipos de e-lixo exigem.

Identificar barreiras existentes que dificultem o descarte de e-lixo de forma sustentável

A equipe de sustentabilidade deverá conhecer o ciclo de vida dos EEE para identificar as barreiras existentes relacionadas à compra, utilização e eliminação destes equipamentos. Se as barreiras existentes desencorajarem o descarte sustentável de EEE em seu fim de vida, deverão se incluir mudanças no plano do projeto para transpô-las.

Além disso, a equipe deve procurar compreender as barreiras que enfrentam as empresas de reciclagem de e-lixo em consequência da regulamentação nacional e local. Embora estas barreiras possam ser difíceis de serem transpostas no curto a médio prazo, pelo menos irá se identificar quais desafios serão exclusivos para os objetivos da proposta. Em Campos dos Goytacazes-RJ, uma das barreiras encontradas é a carência de empresas de reciclagem para este tipo de material, mas em São Paulo já estão sendo implantadas.

Identificar parceiros apropriados para eliminação do e-lixo

Após o levantamento de dados atuais para aquisição de EEE e sua eliminação; a identificação das barreiras para o descarte deste tipo de material de forma sustentável; uma IES pode começar a procurar empresas parceiras e com capacidade para escoar os diversos tipos de componentes desmontados e o volume de e-lixo coletados de uma forma sustentável. Segundo S-lab (2008) as seguintes questões devem ser avaliadas para o cadastro de empresas parceiras para fazer o escoamento sustentável do e-lixo:

- Quantos processadores/recicladores estão localizados na região? Na cidade de Campos dos Goytacazes não há empresas de processamento final. Só foi identificado um empreendedor ainda informal que realiza o pré-processamento e declara que

encaminha as partes de EEE (HDs, PCIs e etc.) para empresas das cidades do Rio de Janeiro e São Paulo.

- Qual é a capacidade de cada empresa para o processamento de e-lixo?
- Quais normas ou quais as práticas, recomendadas pelas leis ambientais são aderidas pela empresa?
- Tomar a decisão sobre se essas normas são suficientes para a empresa de reciclagem ser considerada sustentável?
- Quais os preços que as empresas de processamento cobram ou pagam por cada categoria de e-lixo?
- A empresa de reciclagem consegue processar todo o e-lixo no país, ou algumas partes são enviadas para o exterior? Há partes que estão sendo recuperadas em empresas do ABC paulista (CARVALHO *et al.*, 2010) e as partes que possuem os metais preciosos são encaminhadas para outros países, tais como Bélgica e Suécia.
- Quem faz a auditoria na empresa para garantir que está cumprindo as normas que anuncia?
- Como será efetuado o transporte que envolve a entrega e o escoamento do material para processamento final? Empresas de São Paulo (exemplo: Hequipel) informaram que volumes mínimos estipulados propiciam a busca do e-lixo.

As respostas destas perguntas ajudam a IES na identificação de empresas de reciclagem parceiras para o encaminhamento do e-lixo.

Determinar a solução ideal para a gestão de e-lixo

A parceria com empresas de reciclagem ajudará a resolver o problema de estoques obsoletos de IES. No entanto, simplesmente o encaminhamento para reciclagem de PCs *desktop* e outros resíduos de EEE podem não ser a melhor solução para gestão de e-lixo. Cada IES também pode querer explorar um modelo diferente, mas a própria instituição separará os componentes eletrônicos e escolherá seus destinos de processamento. Muitas IES estão como pioneiras de uma variedade de modelos, como foi mostrado na seção 2.4. O modelo da universidade de Califórnia utiliza do conceito da responsabilidade do fabricante de "retomar" o produto; o modelo da universidade de Duke define a doação de PCs após recuperação porque tem uma infra-estrutura de apoio para ajudar com a configuração do PC, treinamento e manutenção do mesmo; o modelo da universidade de Colorado pratica a reutilização de PCs e de peças ainda em funcionamento; e a USP, com seu centro CEDIR, realiza o híbrido de

doação de PCs e periféricos recuperados, doação de plásticos e metais para cooperativa de catadores e encaminhamento para empresas de processamento final (PCIs e monitores CRT). No Brasil, a lei PNRS obrigará que todos os fabricantes/distribuidores retomem seus produtos quando estiverem em desuso após aplicados os modelos de gestão de e-lixo de cada IES.

Criar a proposta do projeto piloto

As seis primeiras etapas acima irão ajudar a definir a direção estratégica para iniciativas da IES no tratamento adequado de seu e-lixo. O restante da proposta do projeto exigirá a execução de todas as etapas que foram discutidas nesta seção. Finalmente, espera-se que esta proposta de projeto se torne um primeiro passo para permitir o compartilhamento de melhores práticas para o encaminhamento mais sustentável possível para os PCs *desktop* no fim de sua vida útil.

4.5 Um modelo de tratamento de PCs *desktop* obsoletos em uma IES

As IES que desejem tornar-se mais pró-ativas na redução de sua pegada ambiental deverão por sua atenção voltada a decidir o que fazer com as grandes quantidades de e-lixo que geram. Elas poderão encaminhar seu e-lixo para reciclagem, alternativa que envolve a obtenção de matéria-prima que substitui material virgem nos processos de fabricação de novos equipamentos. Embora a reciclagem seja uma boa opção, tem de ser considerado que há perigosas emissões de gases, citadas na seção 2.3.4, se não são encaminhadas à empresas que dêem garantia de controle nas emissões de gases, por exemplo; portanto deverão ser tentadas outras formas de recuperação, esboçadas a seguir.

A primeira opção pós utilização de um PC em um sistema sustentável de gestão de e-lixo deve ser a reutilização, o que implica em encontrar um novo uso ou um novo usuário para um equipamento antigo. A reutilização minimiza a quantidade de energia gasta para recuperar materiais e gastos com o descarte. Este método é ecologicamente sustentável.

Quando os PCs não são mais úteis com suas configurações atuais, algumas IES trabalham com o acondicionamento, que envolve a desmontagem e reconfiguração de PCs, aumentando o tempo de vida útil, a venda ou a doação. O acondicionamento difere da reciclagem, pois alguns componentes originais são mantidos e outros, com defeito, são substituídos para que o PC funcione novamente, em vez de transformar essas peças como matérias-primas para o início de um novo ciclo de vida do produto.

Quando as opções de acondicionamento e reutilização dos PCs nas IES forem esgotadas, o encaminhamento para a reciclagem apresenta a melhor opção para lidar com o fim da vida do

e-lixo. Devido à necessidade de mão de obra especializada e produtos químicos envolvidos na reciclagem, as IES geralmente optarão por enviar seu e-lixo para profissionais externos.

Embora o sistema ideal para gestão do e-lixo seja manter a fiscalização ao longo de todo o ciclo de vida dos EEE do "berço ao berço", uma opção mais realista é planejar e monitorar a situação do EEE desde o momento em que se toma posse dele até a disposição final do produto.

4.6 Importância de um centro de armazenagem e triagem para PCs de IES

Várias são as possibilidades de ações diretas que podem ajudar a diminuir os danos causados pelo tratamento incorreto do e-lixo. Porém, se não houver conscientização do usuário, formado pela população universitária, fornecedores, fabricantes e administradores não poderá ser implantada uma necessária gestão compartilhada do e-lixo e pouco poderá ser conseguido.

A criação de um ponto de referência para gerir estas ações é fundamental para que os efeitos sejam maiores e para que haja garantia de que os procedimentos estejam sendo executados com responsabilidade. Por isso um centro de armazenagem e triagem deve ser implementado.

Alguns dos objetivos do centro na gestão dos PCs *desktop* pós-consumo são:

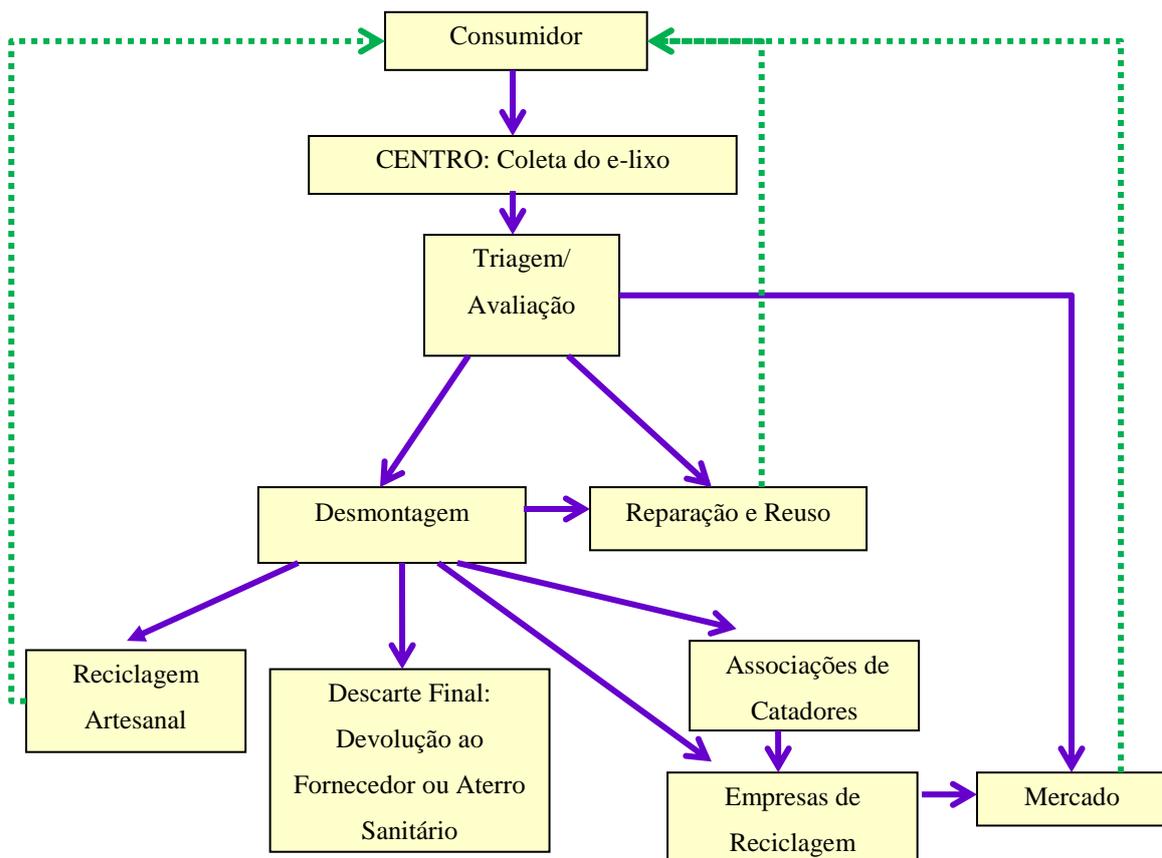
- A reutilização, o que implica em conseguir aumentar o tempo de utilização ou um novo usuário para um PC antigo;
- O condicionamento ou remanufatura, quando os PCs, com suas configurações atuais, não são mais úteis, o que envolve a desmontagem e reconfiguração de PCs para novo uso: venda ou doação (fase realizada manualmente);
- A reciclagem, quando as opções anteriores forem esgotadas, apresenta a melhor opção para lidar com o fim da vida do e-lixo. Devido à mão de obra e produtos químicos envolvidos nesta fase da cadeia de transformação, o centro enviará seu e-lixo: separado, classificado e prensado para associações de catadores ou empresas de reciclagem cadastradas.

4.6.1 Fluxograma das operações do centro de armazenagem e triagem

Para melhor entendimento das funções de um centro de armazenagem e triagem foi elaborado um fluxograma, mostrado na Figura 16. Nele se observa que o consumidor é representado pelos usuários: professores, estudantes e funcionários, os quais, nas IES descartam resíduos de EEE, e-lixo. Um sistema de coleta é responsável pelo envio deste material até o centro onde o mesmo passará pela Triagem/Avaliação, em seguida recebe o tratamento adequado. Após a avaliação, se o PC estiver funcionando corretamente, será encaminhado, para o

prolongamento de sua vida útil, às ONGs ou outras instituições de ensino cadastradas. Este encaminhamento deverá ser feito com a assinatura de um contrato que obrigará a devolução do PC ao centro, de parte da organização beneficiada quando o mesmo estiver em desuso. No caso onde a avaliação diagnostique que o PC não funciona corretamente, então o mesmo será desmontado e inspecionado, as partes consideradas úteis serão limpas. Placas e outros componentes testados e reaproveitáveis serão usados na montagem de PCs com novas configurações, para o reuso. Os outros materiais são separados, classificados e/ou prensados, pesados e devidamente armazenados. Após estas ações os PCs serão disponibilizados para associações cadastradas, que fazem reciclagem artesanal (somente com materiais que não possuem substâncias perigosas) ou serão doados para associações de catadores cadastradas, que poderão vender para empresas recicladoras ambientalmente responsáveis. Como última opção os materiais restantes, que não são de interesse dessas entidades, serão encaminhados, após contatos, aos fornecedores e/ou aterros sanitários para sua disposição final.

Figura 16: Fluxograma das operações no Centro de Armazenagem e Triagem proposto



Os detalhes técnicos de pessoal e infra-estrutura do centro de armazenagem e triagem estão descritos no apêndice F.

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

Recentemente a mídia aumentou a divulgação dos perigos em torno do descarte descompromissado de resíduos, em particular os de EEE, o e-lixo; o que facilita a discussão da necessidade de projetos sustentáveis para sua gestão, com o objetivo do controle dos riscos deste tipo de resíduo envolvendo os gestores públicos, privados e os cidadãos em geral.

Em particular, na cidade de Campos dos Goytacazes – RJ, uma cidade com mais de 400000 habitantes, a preocupação com o problema do e-lixo começa a ganhar maiores proporções, pois o governo do estado distribuiu e distribui PCs, em regime de comodato, para todos os professores da rede estadual de escolas; e nas escolas da rede municipal, os alunos já estão utilizando novos PCs em laboratórios de informática recentemente montados. Segundo UCA (2011) este cenário surge sob o amparo da lei N° 12249, de 11 de Junho de 2010, que instituiu o Programa Um Computador por Aluno (PROUCA) e o Regime Especial para Aquisição de Computadores para Uso Educacional (RECOMPE) relatado por MEC (2011).

As iniciativas do governo federal, citadas, têm o objetivo de promover a inclusão digital nas escolas das redes públicas de ensino federal, estadual, municipal e nas escolas sem fins lucrativos que fazem o atendimento às pessoas com deficiência.

A partir das entrevistas realizadas pode-se concluir que, na cidade, não há um órgão específico para o e-lixo. Observou-se que na prática a responsabilidade pelo gerenciamento destes resíduos é atribuída ao setor de patrimônio das IES, porém uma gestão do e-lixo vai muito além de guardá-los ou contabilizá-los. A gestão dos resíduos de EEE consiste em um sistema, se respaldado pela administração central das IES, que se preocupe de: planejar a compra dos EEE, buscando fabricantes que poluem menos e que retomem o produto no final de sua vida útil; buscar bons preços; conscientizar os usuários para o uso eficiente dos EEE e; organizar o destino do material descartado de modo a preservar o meio ambiente.

Na entrevista feita com o IFF constatou-se que a idéia de tratar o problema do e-lixo, nesta instituição, surgiu de um projeto multidisciplinar em que seriam trabalhados os conhecimentos de química, meio ambiente e eletrônica, cursos oferecidos pela instituição no seu campus de Guarus, Campos dos Goytacazes-RJ.

Por meio da revisão bibliográfica verificou-se que o problema do e-lixo no mundo tem uma grande visibilidade e é fonte de pesquisas multidisciplinares em diferentes países, principalmente os da UE, o Japão e a China. Os riscos ambientais e à saúde humana que existem no descarte e tratamento inadequado do e-lixo indicam a necessidade de propor

soluções de modo a diminuí-los. Existe no Brasil grande expectativa para implementação da lei federal 12305, a PNRS, sancionada em Agosto de 2010 e regulamentada em Dezembro de 2010, pois ela contempla atividades de sucesso em países europeus. Com ela será colocada em prática uma gestão compartilhada do e-lixo e precisará de fiscalização da parte do governo, envolvendo fabricantes/distribuidores e conscientização/participação do consumidor. A lei exige que as empresas montem seus sistemas de logística reversa de forma que assumam a responsabilidade com os seus produtos no fim de vida útil. A PNRS também abrange a área social, incluindo os catadores nas operações de coleta dos resíduos sólidos.

As informações coletadas, pelos questionários aplicados, mostraram grande receptividade e interesse, dos responsáveis na administração de equipamentos de TI, encontrando as propostas de ações de gestão de e-lixo procedentes e exeqüíveis.

O presente trabalho fortalece a proposta de criar um centro de armazenagem e triagem para o e-lixo das IES, apoiando a iniciativa do IFF – campus de Guarus formulada durante a realização pesquisa. Este centro seguirá o exemplo do CEDIR na USP, e com ele dar-se-ia início a um tratamento racional dos resíduos de EEE na cidade, o que contribuirá para viabilizar um sistema de indústrias e de comércio com menores emissões de CO₂, quando a ACV e a logística reversa das empresas se realimentarão com as informações de reuso e reciclagem dos EEE, apoiando uma economia de baixo carbono.

São muitas as possibilidades de ações diretas que podem ajudar a diminuir os danos causados pelo falta de tratamento dos resíduos eletrônicos, porém, se não houver conscientização continuada do usuário, dos fornecedores e fabricantes, e dos administradores numa gestão compartilhada, pouco se poderá conseguir.

Assim, a criação de um ponto de referência para gerir estas ações é fundamental para que se possa agir em conjunto de forma continuada de modo que os efeitos sejam maiores. Para isso um Centro de Armazenagem e Triagem de e-lixo deve ser implementado, com os seguintes objetivos:

- A reutilização, o que implica em encontrar uma ampliação da vida útil do equipamento ou um novo usuário para um componente antigo;
- O condicionamento, quando os PCs, com suas configurações atuais, não são mais úteis, o que envolve a desmontagem e reconfiguração de PCs para uso, venda ou doação;
- A reciclagem, quando as opções anteriores forem esgotadas, apresenta a melhor opção para lidar com o fim da vida de resíduos de EEE. Devido à mão de obra e produtos

químicos envolvidos nesta fase da cadeia de transformação, o centro enviará seu e-lixo: separado, classificado, prensado para empresas de reciclagem ou para associações de catadores cadastradas.

Evidenciou-se finalmente que, quando uma IES torna-se mais pró-ativa e responsável na redução do seu impacto ambiental, sua atenção se volta para uma gestão eficiente das grandes quantidades de resíduos sólidos que gera. Em particular, preocupar-se-ia com os EEE que ficarão em desuso. Segundo Leite (2010) a PNRS, além de estabelecer regras para uma produção mais sustentável no Brasil, abre novas oportunidades de negócios. A proposta do centro de armazenagem e triagem para as IES da cidade de Campos dos Goytacazes – RJ é amparada pela nova lei e colaborará para que os envolvidos, fabricantes, distribuidores e usuários possam colocá-la em prática.

SUGESTÕES DE TEMAS PARA TRABALHOS FUTUROS

- Fazer um levantamento do tratamento do e-lixo nas instituições de ensino (escolas, institutos, colégios) na cidade com o objetivo de completar um diagnóstico.
- Identificar no calendário datas para promover campanhas de entrega voluntária de EEE. Avaliar via simulações computacionais a localização ótima dos pontos de coleta de e-lixo na cidade;
- Fazer uma análise de viabilidade de empreendimentos ou projetos de pré-processamento e do processamento final do e-lixo de TI.
- Fazer a Avaliação do Ciclo de Vida de Notebooks
- Criar um centro de armazenagem e triagem de PCs *desktop* para IES.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABCV. Associação Brasileira de Ciclo de Vida. Disponível em: <http://www.abcvbrasil.org.br>. Acesso em: 10/04/2010.
- ABINEE. Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **A Indústria Elétrica e Eletrônica em 2020 - Uma Estratégia de Desenvolvimento**. Disponível em <http://www.abinee.org.br/programas/imagens/2020a.pdf>. Acesso em 11/06/2010.
- ABRANTES, R. J. D. **Reciclagem de Placas de Circuito Impresso: Otimização da Operação de Processamento Físico**. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Dissertação de Engenharia de Materiais. Portugal, 2009.
- ADLER, L. **Symbiotic marketing**. Harvard Business Review, 1966.
- AKATU. **Computadores de cabeça quente**. Disponível em <http://www.akatu.net>. Acesso em 22 de Agosto de 2010.
- AMBIENTE BRASIL. **Comissões do Senado aprovam política nacional de resíduos sólidos**. Disponível em <http://www.ambientebrasil.com.br>. Acesso em 20 de Julho de 2010.
- ANDEL, T. **Reverse logistics: A second chance to profit**. *Transportation and Distribution*, 1997.
- ARAÚJO, M. C. P. B. de. **Reciclagem de Fios e Cabos Elétricos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Universidade de São Paulo, 2006.
- ASLOG – Associação Brasileira de Logística. Disponível em www.aslog.org.br. Acesso em 24 de Novembro de 2010.
- BACALLAN, J. J. **Greening the supply chain**. Business and Environment, 2000.
- BIZZO, W. A. **Gestão de resíduos e gestão ambiental da indústria eletroeletrônica**. Disponível em: <http://www.tec.abinee.org.br/2007/arquivos/s702.pdf>. Acesso em: 02 de maio de 2010.
- BOYD S. B.; HORVATH A.; DORNFELD D.A. **Life-cycle assessment of computational logic produced from 1995 through 2010**. Environ. Res. Lett. 5, 2010.
- BLUMBERG, D. **Strategic examination of reverse logistics and repair service requirements, needs, market size, and opportunities**. Journal of Business Logistics, 1999
- BREWER, P. C.; SPEH, T. W. **Using the balanced scorecard to measure supply chain performance**. Journal of Business Logistics, 2000.

BRIDGEN, K; LABUNSKA, I.; SANTILLO, D.; JOHNSTON, P. **Chemical contamination at e-waste recycling and disposal sites in Accra and Korforidua, Ghana**. Amsterdam: Greenpeace, 2008

BRITO, M. P.; DEKKER, R. **A framework for reverse logistics**. ERIM report series research in Management. Disponível em <http://ideas.repec.org/p/dgr/eureri/3000378.html>. Acesso em 20 de Novembro de 2010.

BYRNE, P. M.; DEEB, A. **Logistics must meet the green challenge**. *Transportation and Distribution*, 1993.

CAIRNCROSS, F. **How Europe's companies position to recycle**. Harvard Business Review, 1992.

CALDEIRA-PIRES, A. **Princípios do GaBi 4 para Estudos de ACV**. Curso de Especialização em “Gerenciamento de Tecnologias Ambientais para a Produção Limpa”. Departamento de Engenharia Ambiental – UFES, 2006.

CARTER, C.; ELLRAM, L. **Reverse logistics: A review of literature and framework for future investigation**. *Journal of Business Logistics*, 1998.

CARVALHO, P. P. de; PEREIRA, R. S.; GUEVARA, A.J. H.; GARCIA, M. N. **O descarte de Equipamentos Eletroeletrônicos nas prefeituras do grande ABC Paulista**. Artigo retirado do XII ENGEMA, São Paulo, 2010.

CEA, Consumer Electronics Association. **US Consumer Electronics Sales and Forecast**, 2008.

CHANCEREL, P.; MESKERS, C.E.M.; HAGELÜKEN, C.; ROTTER, S. **Assessment of metal flows during pre-treatment of waste electrical and electronic equipment focusing on precious metals**. Submitted to *Journal of Industrial Ecology*, 2008.

CHEHEBE, J. R. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Qualitymark/CNI, 1998.

CUI J.; ZHANG L. **Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review**. *Journal of hazardous materials*, Vol. 158, 2008.

DAUGHERTY, P. J.; MYERS, M. B.; RICHEY, R. G. **Information support for reverse logistics: The influence of relationship commitment**. *Journal of Business Logistics*, 2002.

DANE, F.C. **Research methods**. California: Brooks/Cole, 1990.

DEGHER, A. **HP's worldwide take back and recycling programs: Lessons on improving program implementation**. IEEE international symposium on electronics and the environment on 6–9 May 2002, 2002.

DOU N° 72 15/4/2004, Seção 1, p. 3/4, Lei 10861, Institui o SINAIS e da outras providências. Disponível em http://www.inep.gov.br/download/superior/2004/Legislacao/LEI_n10861_14_4_04_SINAES.doc. Acesso em 12 Dezembro de 2010.

DOWLATSHAHI, S. **Developing a theory of reverse logistics**. Interfaces, 2000.

EAA/OEA Recycling Division. **Aluminium recycling – the road to high quality products**. Brussels. Disponível em www.eaa.net. Acesso em 18 de Outubro de 2010.

ESPINOZA, O.; VILLAR, L.; POSTIGO, T.; VILLAVERDE, H. **Diagnóstico del Manejo de los Residuos Electrónicos en el Perú**. Lima: IPES and Empa, 2008.

EMPA.CH. **Life cycle assessment on recycling and disposal of wasted printed circuit boards in China**. Disponível em http://www.empa.ch/plugin/template/empa/124/59313/---/l=3/changeLang=true/lartid=59313/orga=/type=/theme=/bestellbar=new_abt=/uacc=. Acesso em 29 de Agosto de 2010.

FERGUSON, M. **Estratégias de governo eletrônico: o cenário internacional em desenvolvimento**. In: EISENBERG, J.; CEPIK, M. (Orgs.). **Internet e política: teoria e prática da democracia eletrônica**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002.

FERREIRA, J. V. R. **Gestão ambiental – Análise de ciclo de vida dos produtos**. Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

FERREIRA, D. D. M.; SILVA, L. E. da; ALMEIDA, F. M. de. **Ti verde: tecnologias conectadas com a sustentabilidade ambiental**. Rev. Eletrônica do Mestr. Educ. Ambient. Issn 1517-1256, v. 24, 2010.

FERREIRA, A. B. H. **Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. Editora Positivo. Edição 5, 2010.

FINLAY, A.; LIECHTI D. **e-Waste Assessment South Africa**. Johannesburg: E-Waste Association of South Africa. Disponível em <http://www.ewasa.org>. Acesso em 25 de Setembro de 2010.

FRANÇA, F. C. C.; MORALES, G. **Tratamento Sustentável do Lixo Eletrônico em IES: Estudo de Caso**. Artigo retirado do XII ENGEMA, São Paulo, 2010.

FURUKAWA. **Diretiva europeia RoHS**. Disponível em <http://www.furukawa.com.br>. Acesso em 13 de Dezembro de 2010.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 3a ed. São Paulo: Atlas, 1991.

GARTNER. **Gartner says worldwide mobile phone sales increased 16 per cent in 2007**. Disponível em www.gartner.com. Acesso em 01 de Agosto de 2010.

GODFREY, R. **Ethical purchasing: Developing the supply chain beyond environment**. In T. Russel (Ed.), Greener purchasing: Opportunities and innovations. Sheffield: Greenleaf Publishing, 1998.

GREENPEACE. **Guide To Greener Electronics**. Disponível em <http://www.greenpeace.org/international/en/campaigns/toxics/electronics/how-the-companies-line-up/>. Acesso em 14 de Novembro de 2010.

HABASHI, F. **Handbook of extractive metallurgy. Vol 1-4**. Weinheim: Wiley-VHC, 1997.

HAGELÜKEN, C. **Improving metal returns and eco-efficiency in electronics recycling**. In: Proceedings of the 2006 IEEE Int. Symposium on Electronics and the Environment, 2006

HAGELÜKEN, C.; MESKERS, C.E.M. **Mining our computers- opportunities and challenges to recover scarce and valuable metals from End-of-Life electronic devices**. In: H. Reichl, N.F. NISSEN, J. Müller and O. Deubzer (eds): Electronics Goes Green 2008+. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2008.

HART, S. **Beyond Greening: Strategies for a Sustainable World**. Harvard Business Review, Vol. 75 Issue 1, p66-76, 1997

HE, W.; LI G.; MA X.; WANG H.; HUANG J.; XU M.; HUANG C. **WEEE recovery strategies and the WEEE treatment status in China**. In: Journal of Hazardous Materials B136, 2006.

HEIDE, J. B.; JOHN, G. **Do norms matter in marketing relationships?** Journal of Marketing, 1992

HIKWAMA, B. P. **Avaliação de ciclo de vida de um computador pessoal**. Universidade de Queensland Sul, Austrália. Dissertação submetida para obter grau de Licenciatura em engenharia (elétrica e de computadores). Submetida em Outubro de 2005.

HIRSCHORN, L.; GILMORE, T. **The new boundaries of the boundaryless company**. Harvard Business Review, 1992.

HUISMAN, J.; MAGALINI, F.; KUEHR, R.; MAURER, C.; DELGADO, C.; ARTIM, E.; STEVELS, A.L.N. **Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)**. Bonn: United Nations University, 2007.

IDCBRASIL. **Brasil comercializa 13,7 milhões de computadores em 2010**. Disponível em <http://www.idcbrasil.com.br>. Acesso em 14 de Março de 2011.

INFO ONLINE. **Lixo eletrônico terá inventário no Brasil**. Disponível em <http://info.abril.com.br/noticias/tecnologias-verdes/lixo-eletronico-tera-inventario-no-brasil-11052010-5.shl>. Acesso em 20 de Julho de 2010.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. **Fabricação de cada computador consome 1800 quilos de materiais**. Disponível em <http://www.inovacaotecnologica.com.br>. Acesso em 22 de Agosto de 2010.

ISN. **E-Waste's Toxic Trail**. Disponível em <http://www.isn.ethz.ch/isn/Current-Affairs/Special-Reports/E-Waste-s-Toxic-Trail/Analysis>. Acesso em 26 de Julho de 2010.

KANG, H. Y.; SCHOENUNG, J.M. **Electronic waste recycling: A review of U.S. infrastructure and technology options**. In: Resources, Conservation and Recycling, 2005.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **The balanced scorecard—Measures that drive performance**. Harvard Business Review, 1992.

KUPER, J.; HOJSIK M. **Poisoning the poor: electronic waste in Ghana**. Amsterdam: Greenpeace, 2008.

KELLER, M. **Assessment of gold recovery processes in Bangalore, India and evaluation of an alternative recycling path for printed wiring boards**. Master Thesis ETH and Empa, Zurich and St.Gallen/ Switzerland, 2006.

KOKKINAKI, A. I.; DEKKER, R.; de KOSTER, M. B. M.; PAPPIS, C.; VERBEKE, W. **From e-trash to e-treasure: How value can be created by the new e-business models for reverse logistics**, 2001

KOPICKI, R., BERG, M., LEGG, L., DASAPPA, V.; MAGGIONI, C. **Reuse and recycling: Reverse logistics opportunities**. Oak Brook: Council of Logistics Management, 1993

LAMBERT, D. M.; STOCK, J. R. **Strategic logistics management**. Homewood, IL: Irwin, 1993

LEHNER, T. **Integrated recycling of non-ferrous metals at Boliden Ltd**. Ronnskar smelter. In: Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 1998.

LEITE, P. R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2003.

LEITE. P. R. **Logística Reversa e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. Revista Tecnológica, 2010.

LIEB, R.; RANDALL, H. **CEO perspectives on the current status and future prospects of the third party logistics industry in the United States**. Transportation Journal, 1999.

LIFE CYCLE ASSESSMENT. **Principles and Guidelines. ISO14040.2**. Disponível em <http://www.gcdc.org/vem/lca/lca-define.html>. Acesso em 26 de Agosto de 2010.

M. JOHN, V.; OLIVEIRA, D. P.; AGOPYAN, V. **Critérios de sustentabilidade para a seleção de materiais e componentes – uma perspectiva de países em desenvolvimento**. Depat. de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Disponível em: http://pcc2540.pcc.usp.br/Material%202006/VMJOHN_AGOPYAN_OLIVEIRA_05_v4_TRADU__O.pdf. Acesso em 20 de Outubro de 2010.

MARTHALER, C. **Computers for schools: sustainability assessment of supply strategies in developing countries, a case study in Colombia**. Master Thesis ETH Zurich and Empa St.Gallen, 2008.

MCFEDRIES, P. **E-cycling E-waste - Recycling old words to reprocess old electronics** – IEEE Spectrum. Disponível em www.spectrum.ieee.org. Acesso em 20 de Julho de 2010

MEC. **Compra de computador portátil liberada a estados e municípios**. Disponível em <http://portal.mec.gov.br>. Acesso em 12 de Março de 2011.

MITCHELL, M. A.; LEMAY, S. A.; ARNOLD, D. R.; TURNER, G. B. **Symbiotic logistics**. International Journal of Logistics Management, 1993.

MNCR. Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis. Disponível em <http://www.mncr.org.br>. Acesso em 10 de Março de 2011.

MOREIRA, P. de S. O dito e o feito, em educação ambiental, no Brasil, no início do século XXI. Dissertação apresentada na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para a obtenção do grau de Mestre em Educação, 2001.

MURPHY, P. **A preliminary study of transportation and warehousing aspects of reverse distribution**. Transportation Journal, 1986.

MURPHY, P. R.; POIST, R. F.; BRAUNSCHWEIG; C. D. **Role and relevance of logistics to corporate environmentalism**. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 1995

NEWMAN, W. R.; HANNA, M. D. **An empirical exploration of the relationships between manufacturing strategy and environmental management**. International Journal of Operations and Production Management, 1996.

NNOROM, I.C.; OSIBANJO, O. **Sound management of brominated flame retarded (BFR) plastics from electronic wastes: State of the art and options in Nigeria**. In: Resources, Conservation, Recycling, Vol 52, N° 12, 2008.

OGUNSEITAN O. A.; SCHOENUNG, J. M.; SAPHORES, J. M.; SHAPIRO, A. A. **The Electronics Revolution: From E-Wonderland to E-Wasteland**. SCIENCE. VOL 326, 2009.

OTT, D. **Gestion de Residuos Electrónicos en Colombia. Diagnóstico de Computadores y Teléfonos Celulares**. Medellín: Empa, 2008.

PÁDUA, E. M. M. **Metodologia da pesquisa: abordagem teórica-prática**. Editora Papirus. São Paulo, 1996.

PHYSLINK. **What are liquid crystals made of?** Disponível em <http://www.physlink.com/Education/AskExperts/ae303.cfm>. Acesso em 25 de Junho de 2010.

POCHAMPALLY, K. K.; GUPTA, S. M. **A business-mapping approach to multi-criteria group selection of collection centers and recovery facilities** Proceedings of the IEEE. International symposium on electronics and the environment on 10–13 May, 2004.

PRADO, A. P.; BRACHER, L. M.; GUIDI, M. H. S. **Estudo comparativo de três tecnologias de televisores em Termos de impactos ambientais**. Revista ciências do ambiente on-line, volume 2, número 2. Agosto de 2006.

PRATES, G. A. **Ecodesign Utilizando Qfd, Métodos Taguchi e Dfe**. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade Federal de Santa Catarina, 1998

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPOS DOS GOYTACAZES. <http://www.campos.rj.gov.br/portal/index.php>. Acesso em 22 de Julho de 2010.

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

PUCKETT, J.; WESTERVELT, S.; GUTIERREZ, R.; TAKAMIYA, Y. **The digital dump – exporting re-use and abuse to Africa**. Seattle: Basel Action Network, 2005.

RAZZOLINI FILHO, E.; BERTÉ R. **O reverso da logística e as questões ambientais no Brasil**. Editora IBPEX , 2009.

RAVI, V.; SHANKAR, R.; TIWARI, M.K. **Analyzing alternatives in reverse logistics for end-of-life computers: ANP and balanced scorecard approach**. Computers & Industrial Engineering 48, 2005.

ROCHAT, D.; RODRIGUES W.; GANTENBEIN A. **India: Including the Existing Informal Sector in a Clean e-Waste Channel**. In: Proceedings of the Waste Management Conference (WasteCon2008), 2008.

RODRIGUES, C. R. B.; ZOLDAN, M. A.; LEITE, M. L. G.; OLIVEIRA, I. L. de. **Sistemas computacionais de apoio A ferramenta análise de ciclo de vida do produto**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2008

ROSENQUIST, T. **Principles of extractive metallurgy**, Tapir Verlag, 2004.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. **Going backwards: Reverse logistics trends and practices**. Pittsburgh, PA: Reverse Logistics Executive Council: Center for Logistics Management, 1998.

ROSA, H. M. P. **Avaliação Ambiental e Econômica das Externalidades na Análise de Ciclo de Vida: o caso dos óleos usados em Portugal**. Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil Gestão e Sistemas Ambientais, 2009

S-LAB 15.992, **Final Report: E-Waste Initiative At University Of São Paulo**. Relatório Técnico do MIT Sloan School of Management, 2008.

SACCOMANO, A. **Many happy returns**. *Traffic World*, Feb 17, 22, 1997.

SEPÚLVEDA, A., SCHLUEP M. **A review of environmental fate and effects of hazardous substances released from electrical and electronic equipments during recycling: examples from China and India**. Submitted to Environmental Impact Assessment Review, 2005.

SCHABBACH, R. **Avaliação e Desenvolvimento de Produtos Eletro-Eletrônicos Orientados ao Meio-Ambiente**. Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001

SCHISCHKE, K. **Guia de Ferramentas de EcoDesign**. Disponível em <http://www.ecodesignarc.info>. Acesso em: 10 de Maio de 2010.

SCHLUEP, M. **e-Waste generation and management in Uganda**, 2008.

SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry. **Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice'**. SETAC, Brussels, 1993.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2000.

SILICON VALEY TOXICS. Disponível em <http://www.svtc.org/site/PageServer>. Acesso em 15 de Setembro de 2010.

SMIRNOV, A. V. **Profile-based configuring of knowledge supply networks in the global business information environment** Proceedings of 2001 IEEE international conference on systems, man and cybernetics e-Systems and e-Man for cybernetics in cyberspace. Tucson, Arizona, 2001.

SMIRNOV, A.; PASHKIN, M.; CHILOV, N.; LEVASHOVA, T. **Knowledge source network configuration approach to knowledge logistics**. Proceedings of the IEEE international conference on artificial intelligence systems (ICAIS'02) on September 5–10 2002, Divnomorskoe, Russia, 2002.

SOARES, E. **Reduza custos com a TI Verde**. Disponível em http://wnews.uol.com.br/site/noticias/materia_especial.php?id_secao=17&id_conteudo=579. Acesso em 22 de Agosto de 2010.

SPICER, A. J.; JOHNSON, M. R. **Third-party demanufacturing as a solution for extended producer responsibility**. *Journal of Cleaner Production*, 2004.

STANO, L. C. **Avaliação do ciclo de vida: uma ferramenta que merece ser mais conhecida**. Disponível em <http://www.brasilpnuma.org.br>. Acesso em 29 de Outubro de 2010.

StEP (Solving the E-waste Problem). **Recycling – From E-Waste To Resources**. United Nations Environment Programme & United Nations University, 2009.

SUM, C. C.; TEO, C. B. **Strategic posture of logistics providers in Singapore**. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 1999.

TAVARES, V. **Caracterização e processamento de telas de cristal líquido visando a reciclagem**. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Universidade de São Paulo, 2006.

TETRISORGANIZA. Disponível em <http://tetrisorganiza.blogspot.com>. Acesso em 12 de Março de 2011.

THIERRY, M. C. **An analysis of the impact of product recovery management on manufacturing companies**. PhD thesis. The Netherlands: Erasmus University Rotterdam, 1997

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. São Paulo/SP: Editora Cortez, 1994

TURNER, G.; LEMAY, S. A.; MITCHELL, M. A. **Solving the reverse logistics problem: Applying the symbiotic logistics concept**. Journal of Marketing Theory and Practice, 1994.

UCA. Um Computador por Aluno. Disponível em <http://www.uca.gov.br>. Acesso em 12 de Março de 2011.

UMICORE. **Materials for a better life**. Disponível em <http://www.unicore.com.br>. Acesso em 26 de Novembro de 2010.

VEIT, H. M. **Emprego do Processamento Mecânico na Reciclagem de Sucatas de Placas de Circuito Impresso**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001

VEIT, H. M. **Reciclagem de Cobre de Sucatas de Placas de Circuito Impresso**. Tese de Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005

VELDHUIZEN, H.; Sippel B. **Mining discarded electronics**. In: Industry and Environment, Vol 17, Nº 3, 1994.

WAEMA, T.; MURIETHI, M. **e-Waste Management in Kenya**, 2008.

WASSWA, J.; SCHLUEP, M. **e-Waste Assessment in Uganda**. Kampala: Uganda.Cleaner Production Centre and Empa, 2008.

WHITE, C. D., MASANET, E., ROSEN, C. M., BECKMAN, S. L. **Product recovery with some byte: An overview of management challenges and environmental consequences in reverse manufacturing for the computer industry**. Journal of Cleaner Production, 2003.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

APÊNDICE A

QUESTIONÁRIO PARA ENTREVISTA 1 – REALIZADA EM MARÇO DE 2010

Mestrando: Fernando Cesar Coelho França
Orientadora professora Gudelia G. Morales de Arica

Nome da Instituição: _____

Esfera:

Estadual Federal Privada

Endereço: _____

Pontos de Referência de localização da instituição: _____

Quantos laboratórios de informática possui a instituição?

menos de cinco entre e cinco e dez mais de 10

Cada curso tem laboratório de informática independente?

sim não

A instituição definiu um ambiente de armazenamento do e-lixo de PCs?

sim não

Caso a resposta anterior tenha sido sim, qual a localização do lugar?

Com que frequência o material eletrônico computacional é atualizado?

- em menos de quatro anos
- entre quatro e cinco anos com mais de cinco anos

A instituição aproveita peças de equipamentos inativos?

- sim não

Quais são as providências tomadas com o material eletrônico obsoleto (PCs e periféricos, laptops, palmtops e similares)?

- são doados são reaproveitados são guardados
- são jogados no lixo

Existe um setor responsável para gerenciar o e-lixo computacional?

- sim não

Caso a resposta anterior tenha sido sim, qual é esse setor?

A sua instituição preparou algum tratamento especial para os cartuchos de impressoras?

- sim não

Caso a resposta anterior tenha sido sim, qual é esse tratamento?

Nome do entrevistado _____

Função na Instituição _____

Data da entrevista: ____/____/____

APÊNDICE B

QUESTIONÁRIO PARA ENTREVISTA 2 – REALIZADA EM SETEMBRO DE 2010

Mestrando: Fernando Cesar Coelho França
Orientadora professora Gudelia G. Morales de Arica

Nome da Instituição: _____

1) Quais as dificuldades encontradas para administrar os eletrônicos, em desuso, na sua instituição?

- Falta de um setor responsável
- Tramitação para liberação patrimonial
- Desconhecimento dos riscos do descarte no lixo comum
- Contrato de compra dos eletrônicos com o fornecedor, para seu descarte
- Não há Coleta Seletiva em prática na instituição

2) Caso existisse um centro de triagem para o lixo eletrônico, na cidade, a sua instituição teria disponibilidade de doá-lo?

- sim não

a) Se a resposta anterior for Sim, a instituição teria como enviar o material para o centro com transporte próprio?

- sim não

3) Existe na instituição um setor responsável pela gestão dos resíduos gerados?

- sim não

4) Assinale o grau de importância dos critérios, relacionados abaixo, para contribuir com a diminuição dos riscos do tratamento incorreto do lixo eletrônico, desde a compra ao descarte de tais, bem como na conscientização de funcionários e formação de profissionais pela instituição.

a) Compras de novos eletrônicos de empresas que assinem contrato de compromisso na retomada do equipamento quando fique em desuso, mesmo que para isso tenha que pagar mais?

1 2 3 4 5

b) Compras de equipamentos eletrônicos somente de empresas que apresentem a certificação ISO 14001 (fabricantes que se preocupam com a produção do começo até o descarte de forma sustentável)?

1 2 3 4 5

c) Compra de novos equipamentos somente após a verificação da real inutilidade do mesmo, verificada pelo setor de TI da instituição?

1 2 3 4 5

d) Criação de um setor ou uma equipe responsável para gerenciar o e-lixo na instituição?

1 2 3 4 5

e) Inclusão entre seus eventos internos de palestras periódicas de conscientização da preservação do meio ambiente?

1 2 3 4 5

f) Criar em cada curso de graduação uma disciplina específica sobre preservação do meio ambiente?

1 2 3 4 5

Nome do entrevistado _____

Função na Instituição _____

Data da entrevista: ____/____/____

APÊNDICE C

RESULTADOS DA PRIMEIRA COLETA SELETIVA REALIZADA NO IFF-CAMPUS DE GUARUS, EM PARCERIA COM A UENF, NA SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (SNCT)

Em Outubro de 2010 foi realizada a primeira chamada pública para entrega voluntária de resíduos de EEE e coletada no IFF – campus de Guarus em parceria com a UENF como parte das atividades da SNCT 2010 - Ciência para o Desenvolvimento Sustentável da IES. Houve pouco volume de material coletado, devido a que a divulgação foi só para o campus. A experiência foi válida, pois se adquiriu prática na atividade. Em um *stand* montado para a recepção do e-lixo, como mostram as Figura 17 e 18, foram anotadas as informações sobre o tipo de material; o perfil do doador e a quantidade de material doado. As informações foram digitadas em uma planilha eletrônica, elaborada especialmente para o evento. O objetivo da coleta destes dados foi obter estatísticas do peso de cada material recebido, bem como os motivos pelos quais os EEE estavam sendo descartados. A Tabela 9 mostra os pesos dos EEE coletados neste evento.

Figura 17: *stand* da coleta do e-lixo da semana de tecnologia no IFF



Figura 18: alguns dos materiais recebidos no *stand* da coleta do e-lixo



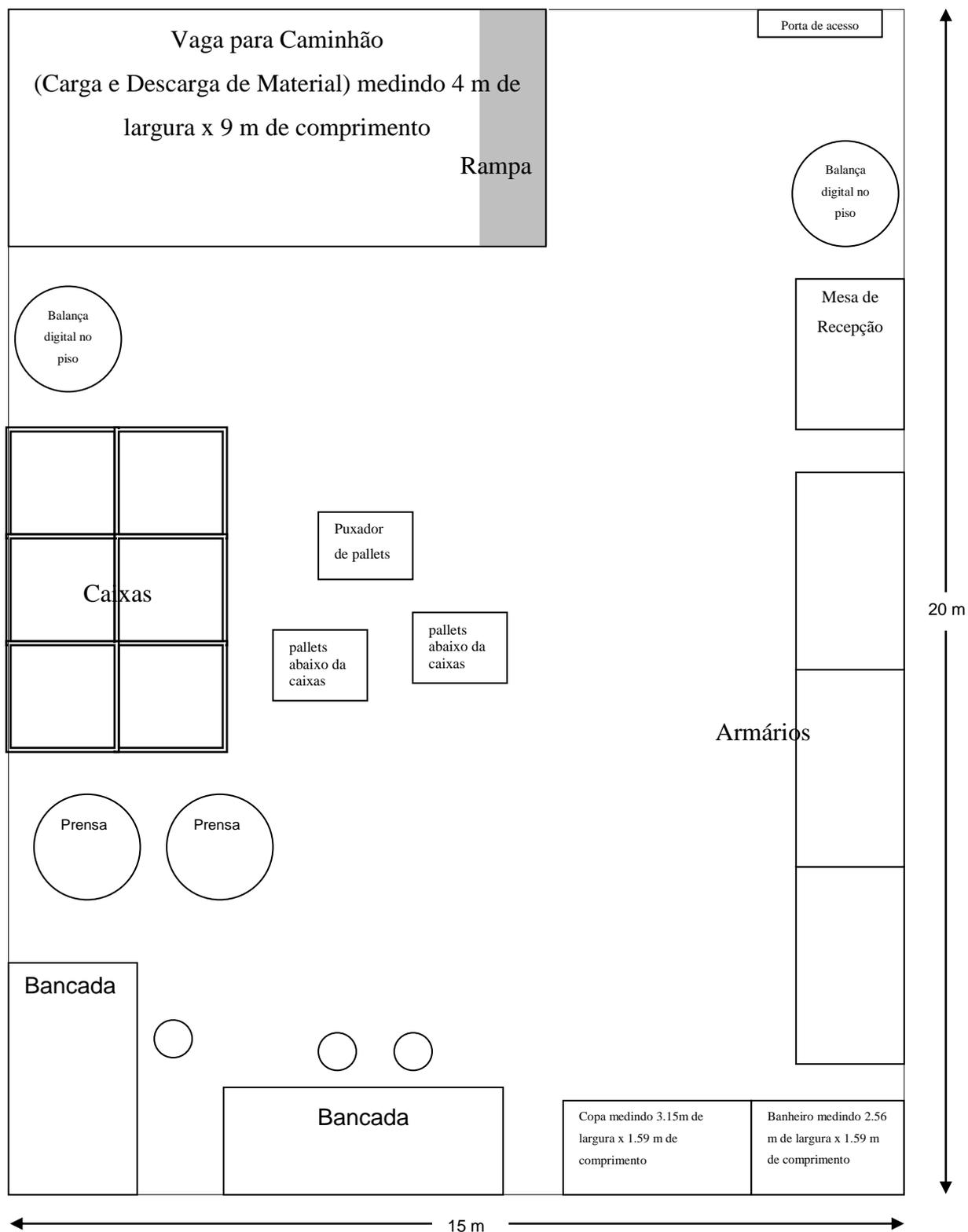
Tabela 9: Totais de pesos de EEE em desuso coletados no evento, por procedência e por tipos de material

Procedência	Peso (Kg)	Material	Peso (Kg)
IFF	22.15	PCs (Teclados, Mouses e etc.)	93.55
UENF	80.70	Celulares, projetor e controles remoto	9.30
Total	102.85	Total	102.85

APÊNDICE D

ESBOÇO DO LOCAL ONDE DEVERÁ FUNCIONAR O CENTRO DE ARMAZENAGEM E TRIAGEM PARA PCS DAS IES EM CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ

Figura 19: Esboço da planta do Centro de Armazenagem e Triagem



APÊNDICE E

ALGUMAS FOTOS DE OPERAÇÕES REALIZADAS EM COMPONENTES DE UM PC
COM O OBJETIVO DE ENCAMINHAMENTO PARA REUSO/ REMANUFATURA E
RECICLAGEM. FONTE: (HIKWAMA, 2005)



Gabinetes de PCs prensados,
diminuindo seu volume e facilitando
o transporte



Caixotes contendo os materiais já
separados



Placa-mãe com suas placas de
extensão já desacopladas



Discos rígidos desmontados



Drives de disquetes desmontados



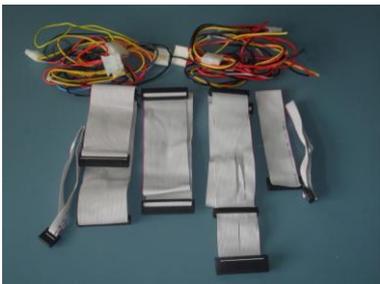
Fontes de alimentação desmontadas



Drives de CD/DVD desmontados



Gabinetes desmontados



Cabos de dados e de alimentação de energia separados

APÊNDICE F

DETALHES DE PESSOAL E EQUIPAMENTOS PARA ORGANIZAÇÃO DO CENTRO DE ARMAZENAGEM E TRIAGEM DE E-LIXO:

Para o bom funcionamento do centro de armazenagem e triagem de e-lixo foi verificado à necessidade dos seguintes componentes:

Componente: Espaço Físico:

- Galpão com no mínimo 300 m²;
- Esboço de Planta do Centro com todas as divisões e localizações dos demais componentes como mostrado no Apêndice D.

Componente: Pessoal Técnico/Administrativo:

- Apoio – bolsista de 20 horas de trabalho. Um para o turno da manhã e outro para o turno da tarde. Terão os seguintes deveres:
 - Receber e alocar o material nas filas para a fase de avaliação;
 - Receber e manter contatos com ONGs, Fornecedores de sucata tecnológica;
 - Controlar o estoque;
 - Agendar a recepção e entrega dos materiais.
- Técnico em Informática – Funcionário de Nível Médio, habilitado como Técnico em Informática em instituição reconhecida pelo Ministério de Educação e Cultura (MEC) que tem os seguintes deveres:
 - Avaliar o material que chega ao centro, testando quais partes estão funcionando;
 - Limpar conteúdos;
 - Desmontar o material de entrada e Montar novas configurações de PCs.
- Estagiário de Informática – Estudante de curso Técnico em Informática de instituição reconhecida pelo MEC que tem os seguintes deveres:
 - Auxiliar o Técnico em Informática em suas tarefas.

- Técnico em Eletrônica– Funcionário de Nível Médio, habilitado como Técnico em Eletrônica em instituição reconhecida pelo MEC que tem os seguintes deveres:
 - Avaliar as peças que o técnico em informática não conseguir averiguar quanto ao funcionamento correto e tentar corrigir o problema quando possível com materiais estocados. Caso o dispositivo não tenha como ser recuperado, esse profissional emitirá um laudo declarando-o como e-lixo.
- Estagiário de Eletrônica – Estudante de curso Técnico em Eletrônica de instituição reconhecida pelo MEC que tem os seguintes deveres:
 - Auxiliar o Técnico em Eletrônica em suas tarefas.

Componente: Material:

- Prensa – para diminuir o espaço físico de materiais como alumínio;
- Balança – para pesagem do material já devidamente separado e classificado;
- Pallets – para locomover os materiais dentro e fora do galpão do centro;
- 2 Puxadores de pallets manuais;
- Caixotes – Para armazenar separadamente os diversos componentes dos PCs;
- Bancada de testes (aterrada)- Para fazer os testes com os PCs e periféricos doados;
- Armários – para guardar equipamentos em funcionamento a serem doados;
- Bancada de uso pessoal – para enfileirar os PCS a serem testados na bancada de testes;
- Prateleiras - para gabinetes;
- Armário com gavetas - para guardar acessórios;
- Armário - para guardar placas;
- Pulseira anti-estática – para proteção dos funcionários diretamente envolvidos com a triagem e manutenção dos PCs;
- Limpador de contato – para limpeza dos dispositivos;
- 5 Cadeiras;
- Álcool Isopropílico – para limpeza dos dispositivos.

- Ferramentas
 - Chave de fenda 1/8", chave de fenda 1/4", chave de torque t10, chave de torque t15, chaves do tipo alen, chave de boca 3/16", chave de boca 1/4", alicate de corte, alicate de bico, conjunto de chaves tipo relojoeiro, cortador e desencapador de fios, pinça, insersor de CIs, extrator de CIs, ferro de solda de 30w 110v, sugador de solda manual, aspirador e soprador de pó, flanela, pincel macio, borracha, porta parafusos, alicate de crimpagem, parafusos, espaçadores de plástico, adaptadores de cabos e portas de interface, pasta térmica, CDs de instalação do Linux, Broffice e outros softwares livres, panos para limpeza.
- Equipamentos de medição, aferição e proteção:
 - Multímetro – para fazer a medição correta de especificações técnicas, como corrente e tensão, nos componentes dos PCs;
 - Osciloscópio – para fazer a medição correta de especificações técnicas, como corrente e tensão, nos componentes dos PCs;
 - Placa *post* – placa para diagnosticar problemas de hardware;
 - Testador de cabo de rede – para verificação da qualidade do funcionamento dos cabos de rede;
 - *No break* – para não danificar equipamentos que estiverem sendo testados e evitar perdas de dados caso haja variação brusca de tensão no local onde o centro estiver instalado.
- Placas e Componentes para "Cobaia" de Teste:
 - Placas mãe, processadores, memórias, placas de vídeo, discos rígidos, *drives* de CD/DVD, *drives* de disquete, monitores, teclados, *mouses*, fontes;
 - Observação: Todas as placas e componentes devem ser de vários modelos, fabricantes e tecnologias diferentes pela compatibilidade que requer alguns dispositivos.

ANEXO A

CATEGORIAS DE EEE ABRANGIDOS PELA DIRETIVA ROHS – RESTRICTION OF CERTAIN HAZARDOUS SUBSTANCES – DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO DE 27 DE JANEIRO DE 2003

1. Grandes eletrodomésticos
2. Pequenos eletrodomésticos
3. Equipamentos informáticos e de telecomunicações
4. Equipamentos de consumo
5. Equipamentos de iluminação
6. Ferramentas elétricas e eletrônicas
7. Brinquedos e equipamento de desporto e lazer
8. Aparelhos médicos
9. Instrumentos de monitorização e controle
10. Distribuidores automáticos

1. Grandes eletrodomésticos

Grandes aparelhos de arrefecimento

Frigoríficos

Congeladores

Outros aparelhos de grandes dimensões utilizados na refrigeração, conservação e armazenamento de alimentos

Máquinas de lavar roupa

Secadores de roupa

Máquinas de lavar louça

Fogões

Fornos elétricos

Placas de fogão elétricas

Microondas

Outros aparelhos de grandes dimensões utilizados para cozinhar ou transformar os alimentos

Aparelhos de aquecimento elétricos

Radiadores elétricos

Outros aparelhos de grandes dimensões para aquecimento de casas, camas, mobiliário para sentar

Ventoinhas elétricas

Aparelhos de ar condicionado

Outros equipamentos de ventilação, ventilação de exaustão e condicionamento

2. Pequenos eletrodomésticos

Aspiradores

Aparelhos de limpeza de alcatifas

Outros aparelhos de limpeza

Aparelhos utilizados na costura, *tricô*, tecelagem e outras formas de transformar os têxteis
Ferros de engomar e outros aparelhos para engomar, calandrar e tratar o vestuário

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, aparelhos de massagem e outros aparelhos para o cuidado do corpo

Relógios de sala, relógios de pulso e aparelhos para medir, indicar ou registrar o tempo

Balanças

3. Equipamentos informáticos e de telecomunicações

Processamento centralizado de dados:

Computadores de grande porte (*mainframes*)

Minicomputadores

Unidades de impressão

Equipamentos informáticos pessoais:

Computadores pessoais (CPU, mouse e teclado incluídos)

Computadores portáteis (CPU, mouse e teclado incluídos)

Impressoras

Copiadoras

Máquinas de escrever elétricas e eletrônicas

Calculadoras de bolso e de secretária

Outros produtos e equipamentos para recolher, armazenar, tratar, apresentar ou comunicar
informações por via eletrônica

Sistemas e terminais de utilizador

Telecopiadoras

Telex

Telefones

Postos telefônicos públicos

Telefones sem fios

Telefones celulares

Respondedores automáticos

Outros produtos ou equipamentos para transmitir som, imagens ou outras informações por
telecomunicação

4. Equipamentos de consumo

Aparelhos de rádio

Aparelhos de televisão

Câmaras de vídeo

Gravadores de vídeo

Gravadores de alta fidelidade

Amplificadores de áudio

Instrumentos musicais

Outros produtos ou equipamentos para gravar ou reproduzir o som ou a imagem, incluindo
sinais ou outras tecnologias de distribuição do som e da imagem por outra via que não a
telecomunicação.

5. Equipamentos de iluminação

Aparelhos de iluminação para lâmpadas fluorescentes, com exceção dos aparelhos de iluminação doméstica

Lâmpadas fluorescentes clássicas

Lâmpadas fluorescentes compactas

Lâmpadas de descarga de alta intensidade, incluindo lâmpadas de sódio sob pressão e lâmpadas de haletos metálicos

Lâmpadas de sódio de baixa pressão

Outros equipamentos de iluminação ou equipamento destinado a difundir ou controlar a luz, com exceção das lâmpadas de incandescência.

6. Ferramentas elétricas e eletrônicas (com exceção de ferramentas industriais fixas de grandes dimensões)

Berbequins

Serras

Máquinas de costura

Equipamento para tornear, fresar, lixar, triturar, serrar, cortar, tosar, brocar, fazer furos, puncionar, dobrar, encurvar, ou para processos similares de tratamento de madeira, metal e outros materiais

Ferramentas para rebitar, pregar ou aparafusar ou remover rebites, pregos ou parafusos, ou para usos semelhantes

Ferramentas para soldar ou usos semelhantes

Equipamento para pulverizar, espalhar, dispersar ou para tratamento de substâncias líquidas ou gasosas por outros meios

Ferramentas para cortar relva ou para outras atividades de jardinagem

7. Brinquedos e equipamento de desporto e lazer

Conjuntos de comboios elétricos ou de pistas de carros de corrida

Consoles de jogos de vídeo portáteis

Jogos de vídeo

Computadores para ciclismo, mergulho, corrida, remo, etc.

Equipamento desportivo com componentes elétricos ou eletrônicos

Caça-níqueis (*slot machines*)

8. Aparelhos médicos (com exceção de todos os produtos implantados e infectados)

Equipamentos de radioterapia

Equipamentos de cardiologia

Equipamentos de diálise

Ventiladores pulmonares

Equipamentos de medicina nuclear

Equipamentos de laboratório para diagnóstico *in vitro*

Analisadores

Congeladores

Testes de fertilização

Outros aparelhos para detectar, evitar, controlar, tratar, aliviar doenças, lesões ou deficiências

9. Instrumentos de monitorização e controle

Detectores de fumo

Reguladores de aquecimento

Termostatos

Aparelhos de medição, pesagem ou regulação para uso doméstico ou como equipamento laboratorial

Outros instrumentos de controle e comando utilizados em instalações industriais (por exemplo, em painéis de comando)

10. Distribuidores automáticos

Distribuidores automáticos de bebidas quentes

Distribuidores automáticos de garrafas ou latas quentes ou frias

Distribuidores automáticos de produtos sólidos

Distribuidores automáticos de dinheiro

Todos os aparelhos que forneçam automaticamente todo o tipo de produtos