

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA

CAMILA REIS DE OLIVEIRA

**ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA O TRATAMENTO E RECICLAGEM
DO LIXO DE INFORMÁTICA**

Porto Alegre, 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA

CAMILA REIS DE OLIVEIRA

**ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA O TRATAMENTO E RECICLAGEM
DO LIXO DE INFORMÁTICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado junto à atividade de ensino “Projeto Tecnológico” do Curso de Química Industrial, como requisito parcial para obtenção do grau de Químico Industrial.

Prof^ª. Dra. Annelise Engel Gerbase
Orientadora

Porto Alegre, 2010

AGRADECIMENTOS

- Aos meus pais, que sempre foram meu orgulho e fonte de inspiração, por me apoiarem e incentivarem a correr atrás dos meus sonhos, por serem aqueles que acreditaram que eu conseguiria chegar aonde cheguei e pelo amor incondicional.
- Ao meu irmão pela paciência e compreensão durante os momentos difíceis desta caminhada.
- Ao Lucas pelo companheirismo, incentivo, amizade e compreensão nos momentos que estive ausente.
- Aos meus familiares, que sempre acreditaram em mim, dando carinho e apoio.
- As minhas amigas, por serem tão presentes na minha vida, atuando como pilares na minha caminhada.
- À Fernanda e à Sílvia, por todos os momentos inesquecíveis que passamos juntas, pelo inexplicável apoio e amizade, por serem aquelas nas quais me apoiei durante os anos do curso de graduação.
- A todas as pessoas que ao longo destes meses de trabalho contribuíram e auxiliaram no desenvolvimento do trabalho.
- À professora Annelise Engel Gerbase, pela maravilhosa orientação, pelo ensinamento conferido e por todo incentivo e amizade.

SUMÁRIO

1 - Introdução	5
2 - Objetivos	8
3 - Metodologia	9
4 - Estado da Arte da Reciclagem do Lixo Informática.....	10
4.1 - Lixo Eletrônico	10
4.2.1 - Composição de Lixo Eletrônico	10
4.2.2 - Geração de Lixo Eletrônico	12
4.2.3 - Legislação para Descarte e Tratamento do Lixo Eletrônico	16
4.2.4 - Gestão do Lixo Eletrônico	19
4.2 - Reciclagem do Lixo de Informática	28
4.2.1 - Reciclagem de Computadores	28
4.2.2 - Reciclagem de Monitores	29
4.2.3 - Reciclagem dos Plásticos	30
4.2.4 - Reciclagem das Placas de Circuito Impresso	33
4.2.4.1 - Pirometalurgia	33
4.2.4.2 - Hidrometalurgia	34
4.2.4.3 - Eletrometalurgia	35
4.2.4.4 - Biometalurgia	37
4.2.4.5 - Processos Mecânicos	37
5 - Situação Atual do Lixo de Informática na UFRGS.....	43
5.1 - Lixo de Informática Produzido na UFRGS	43
5.2 - Funcionamento do Centro de Recondicionamento de Computadores	45
6 - Proposta Tecnológica	50
7 - Conclusão	54
8 - Bibliografia	56
9 - Anexo	63

1 - Introdução

Os estudos e os aperfeiçoamentos dos meios de informação vêm crescendo ao longo dos anos. Vivemos na era tecnológica, com equipamentos a cada dia mais modernos. Hoje computadores são comercializados com telas “*Slim*” e flexíveis, os monitores de CRT (tubo de raios catódicos) estão sendo substituídos por telas de LCD (tela de cristal líquido), os notebooks são leves e menores, a internet wireless se espalhou pelo mundo. A evolução dos aparelhos celulares é outro exemplo, atualmente podem ser minúsculos e leves, dez anos atrás quem diria que estaríamos ganhando celulares gratuitamente nas lojas ou que essas pequenas máquinas seriam capazes de acessar internet. Assim, também fazem parte desta evolução tecnológica tocadores de música menores, baterias de longa duração, televisores com alta definição e veículos equipados com aparelho GPS.

Há mais de uma década o uso de dispositivos eletrônicos vem crescendo, havendo uma aceleração na produção destes equipamentos. Antigamente ter um computador em casa era privilégio de poucos, hoje em dia é algo comum, muitas vezes as famílias tem um computador para uso domiciliar e outro para uso profissional. Inicialmente o acúmulo de lixo eletrônico não representava um problema ao planeta, porém com o crescimento exponencial deste tipo de equipamento o acúmulo tem sido cada vez maior, não havendo espaço físico apropriado para armazenagem e nem condições adequadas para reciclagem de todo o material descartado^{1,2}.

A acelerada obsolescência dos equipamentos eletro-eletrônicos tem sido destacada como o problema mais significativo. Tanto em países desenvolvidos quanto nos em desenvolvimento o descarte destes materiais representa o tipo de resíduo sólido que mais cresce no mundo¹. Com a inovação tecnológica, a cada dia novos produtos são lançados no mercado, na forma de modelos mais avançados, tamanhos diferentes, diversidade de cores, computadores mais leves e/ou com mais memória, alterações nas velocidades dos processadores. As características alteradas nem sempre são tão significativas mas a atual sociedade consumista descarta o equipamento antigo e compra um novo, muitas vezes, só para “estar na moda”.

Em um estudo realizado pela Universidade das Nações Unidas (órgão ligado à ONU)³ determinou-se que é necessária a utilização de 1,8 t de materiais diversificados para a produção de um único computador. O cálculo realizado tomou como base um desktop com monitor CRT de 17 polegadas. São utilizados aproximadamente 22 kg de produtos químicos, 240 kg de combustíveis fósseis e 1.500 kg de água. Para a fabricação de chips é necessário

utilizar grandes quantidades de água, pois em cada etapa da produção são feitas várias lavagens seguidas. Ainda com relação aos impactos ambientais é possível citar que a produção de um único chip de memória randômica (memória RAM) consome 1,7 kg de combustíveis fósseis, valor equivalente a 400 vezes o seu peso⁴.

Os Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) (celulares, computadores e afins) são compostos basicamente por materiais poliméricos e metálicos. Apresentam em sua constituição metais pesados e outros componentes, como os retardadores de chama bromados, que ao serem descartados no solo, em aterros ou lixões, podem causar danos graves ao meio ambiente e à saúde das pessoas. Quando o lixo é depositado em aterros não controlados há a possibilidade de ocorrer a lixiviação destes metais para o solo e para as águas subterrâneas e superficiais. A incineração destes materiais também não é aconselhada pois leva à emissão de poluentes no ar. Por exemplo a queima de PVC libera toxinas como dioxinas e furanos, que podem afetar o homem alterando suas funções hormonais ou ainda, contaminando o leite materno⁵⁻⁹.

Os metais pesados presentes principalmente nas placas de circuito impresso dos computadores, tais como mercúrio, chumbo, cádmio e arsênio, são altamente contaminantes. A Tabela 1 mostra os principais metais pesados presentes na composição de eletrônicos e os riscos à saúde que os mesmos podem provocar. O elevado nível de poluição causada por esses tipos de resíduos em alguns países da África, Ásia e América do Sul têm despertado uma crescente preocupação de governos e órgãos ambientais¹⁰.

O dinheiro obtido com a comercialização do material desmantelado instiga o interesse de comunidades pobres, principalmente em países subdesenvolvidos, de realizar o trabalho de desmanche do lixo eletrônico sem cuidado e/ou proteção. A reciclagem é uma opção importante que vêm sendo implementada e incentivada por governos, instituições e ONGs. É a alternativa ecologicamente correta para o tratamento da sucata eletrônica. Reciclar o resíduo eletrônico contribui para a preservação do meio ambiente, além de reduzir a extração de recursos naturais não renováveis como, por exemplo, o cobre, que pode ser recuperado no processo.

O tema escolhido para o desenvolvimento deste projeto tecnológico – **Alternativas tecnológicas para o tratamento e reciclagem do lixo de informática** – é bastante recente em termos de pesquisa e de resultados, se comparado com as outras áreas do conhecimento. No entanto, o seu caráter relevante, do ponto de vista social e ambiental, faz com que a bibliografia seja muito abundante, o que determinou que se restringisse o trabalho somente ao lixo eletrônico gerado pela disposição de computadores e monitores.

Tabela 1 – Resíduos Perigosos encontrados em componentes eletrônicos¹⁰.

COMPONENTES ELETRÔNICOS	RESÍDUO PERIGOSO	RISCOS À SAÚDE
Monitores de Computador e Televisores	Chumbo	Danos ao sistema nervoso, sistema circulatório e renal, e dificuldade de aprendizagem em crianças.
Placas de circuitos de impressoras, transmissores e interruptores, baterias de produtos eletrônicos	Mercúrio	Danos permanentes ou fatais ao cérebro e rins.
Interruptores, transmissores e placas de circuito	Arsênio	Danos pequenos à pele, pulmão e câncer linfático; conhecido agente cancerígeno para os seres humanos
Baterias de equipamentos eletrônicos e cabos, placas de circuito	Cádmio	Danos ao rim, pulmão e câncer de próstata.

2 - Objetivo

Levantamento das tecnologias utilizadas no mundo e no Brasil para reciclagem de lixo de informática (computadores e periféricos) com ênfase na recuperação de metais e reutilização do plástico.

3 - Metodologia

Para a elaboração deste trabalho foi realizado um levantamento do estado da arte sobre o tema, tendo como principais focos:

- (1) a estratégia de gestão do lixo de informática em diferentes países,
- (2) as metodologias mais usadas e viáveis de recuperação de metais e reutilização do plástico oriundo do lixo de informática e
- (3) a contextualização da UFRGS frente a esse problema.

Foram realizadas consultas em sites na Internet, em bancos de teses e dissertações, em bancos de dados de literatura científica tecnológica como ISI, SCOPUS, Portal de Periódicos da CAPES e Patente Online, bem como, em visitas às empresas, em entrevistas e da participação no Workshop “Política Nacional de Resíduos Sólidos” realizado no dia 22 de novembro deste ano, em São Paulo.

4 - Estado da Arte da Reciclagem do Lixo de Informática

4.1. - Lixo Eletrônico

A gestão do lixo eletrônico é de fundamental importância para o meio ambiente, pois contribui para a preservação da natureza, reduz a utilização de materiais não renováveis e pode ser uma fonte de renda atrativa.

4.1.1 - Composição de Lixo Eletrônico

O lixo eletro-eletrônico é composto de eletrodomésticos, computadores, rádios, televisores, celulares e outros ¹¹. Esse lixo é composto de, principalmente, plástico, ferro, metais não ferrosos, vidro e madeira. Na Tabela 2 estão apresentados os tipos de materiais que compõem a sucata de equipamentos eletro-eletrônico e suas respectivas quantidades¹².

Tabela 2: Composição da Sucata Eletrônica¹².

Material	Quantidade
Plásticos	20,6%
Ferro/Aço	47,9%
Metais Não-Ferrosos	12,7%
Vidro	5,4%
Placas de Circuito Impresso	3,1%
Madeira	2,6%
Outros	7,7%

As placas de circuito impresso estão presentes em praticamente todos os equipamentos da indústria de eletro-eletrônicos e são importantes componentes dos computadores. Dentro do gabinete (torre de computador) existe um conjunto de placas de circuito impresso, como a placa mãe, placa de rede, placa de modem e placa de vídeo que estão presente em praticamente 90% dos computadores. O material que compõe a base, chamada laminado, de uma placa de circuito impresso, pode ter diferentes composições, alguns exemplos são: fenolite (papelo impregnado com uma resina fenólica), fibra de vidro, composite (mistura de resina fenólica com a fibra de vidro) e cerâmicos. O laminado é recoberto por uma fina camada de cobre, sobre a qual são montados os componentes eletrônicos. As conexões entre os componentes ocorrem do lado cobreado através de caminhos condutores, Figura 1^{13,14}.



Figura 1: Placa de circuito impresso

Os equipamentos eletrônicos contêm várias frações de materiais valiosos sendo que a maioria destas substâncias está nas placas de circuito impresso. A composição média de uma placa de circuito impresso está descrita na Figura 2¹⁵. As quantidades de metais valiosos são significativas considerando-se, por exemplo, que a concentração de ouro existente na PCI é superior à encontrada no minério de ouro bruto. Veit. H.¹⁶ constatou que há 17 g de ouro por tonelada de resíduo de PCI, sendo que na mineração de ouro a quantidade extraída varia de 6-12 g por tonelada de minério.

▶ Metais: 28% ▶ Plástico: 19% ▶ Bromo: 4% ▶ Materiais Cerâmicos, Vidros e Óxidos: 49%	→	Em Média	
		14% Cobre	2% Sn
		6% Fe	0,3% Ag
		2% Ni	0,04% Au
		2%Zn	0,02% Pd

Figura 2: Composição média de uma placa de circuito impresso¹⁵.

Os monitores de computador e televisores também são fontes de poluição pois contêm metais ou compostos nocivos ao meio ambiente¹⁷. Os tubos de raios catódicos (CRT) ou tubos de imagem utilizados alguns anos atrás tornaram-se obsoletos e estão sendo substituídos por telas de cristal líquido (LCD), ocasionando um grave problema ambiental ao serem inadequadamente descartados, pois compostos de chumbo, cádmio, estrôncio, bário, arsênio,

antimônio e fósforo estão presentes nos tubos. Cada CRT possui cerca de 1-4 kg de chumbo por tela, que é utilizado como proteção contra radiações e para estabilizar o vidro^{18,19}. As telas de LCD possuem compostos de arsênio no vidro e de mercúrio nas lâmpadas fluorescentes que iluminam a tela. Entretanto, as telas com tecnologia LED (Diodo Emissor de Luz), não possuindo lâmpadas com mercúrio tornam-se ecologicamente mais corretas^{20,21}.

4.1.2 - Geração de Lixo Eletrônico

De acordo com o relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA)²², atualmente são gerados 40 milhões de toneladas de lixo eletrônico por ano no mundo, principalmente oriundos de países desenvolvidos. Só a União Européia gera anualmente de 8,3 a 9,1 milhões de toneladas. Além disso, estimativas apontam que a venda de equipamentos eletrônicos deve crescer consideravelmente nos países em desenvolvimento nos próximos dez anos. Nestes países, a classe média está cada vez mais fortalecida e a estabilidade econômica é responsável pelo aumento da compra de eletroeletrônicos.

Os EUA é o país com maior produção de sucata eletrônica do mundo, acumulando anualmente o montante de 3 milhões de toneladas. Em 2007, 410 mil toneladas foram recicladas (13,6%) e o restante foi inadequadamente descartado, indo para aterros ou incineradoras. Os americanos descartam cerca de 130 mil de computadores por dia, o equivalente a 47,5 milhões de unidades por ano. Considerando o peso médio de um computador igual a 10 kg, aproximadamente, 475 mil toneladas de computadores são descartados a cada ano nos Estados Unidos²³⁻²⁵. Os pesos estimados e o tempo de vida médio de alguns equipamentos eletro-eletrônicos estão apresentados na Tabela 3²².

A China é o segundo maior produtor de sucata eletroeletrônica do mundo, a geração de resíduos é de aproximadamente 2,3 milhões de toneladas por ano. O acúmulo de lixo na China é ainda maior se forem considerados os alarmantes números de importação de sucata eletrônica. O país recebe 70% de toda a sucata exportada no mundo, o restante é exportado para países como Índia, Nigéria, Paquistão, Malásia, Vietnã. O cumprimento negligente das normas ambientais e a precária legislação dos países subdesenvolvidos não conseguem impedir a entrada destes materiais em seus territórios. Os Estados Unidos, por exemplo, exportam de 50% a 80% de sua sucata eletrônica para países pobres, dos quais aproximadamente 90% são encaminhados para a China^{22,26-29}. Inicialmente os países mais visados eram a China e a Índia, porém, desde 2006, há uma grande procura pela rota de descarte e comercialização de lixo eletrônico (e-lixo) na África. Acredita-se que a Nigéria

receba mensalmente 100 mil computadores, contudo, somente 25% deles são reutilizáveis, os 75% restantes são sucata³⁰.

Tabela 3: Estimativa de peso e tempo de vida médio de equipamentos eletro-eletrônicos²².

Equipamento Eletro-Eletrônico	Peso (kg)	Tempo de Vida (anos)
PC + Monitor	25	5-8
Notebook	5	5-8
Impressora	8	5
Celular	0,1	4
Televisor	30	8
Refrigerador	45	10

Entre os principais países emergentes o Brasil ocupa o segundo lugar como gerador de lixo de informática. Em 2005 gerou 96,8 mil toneladas de sucata de computadores, esse volume só é inferior ao da China que em 2007 gerou 300 mil toneladas. Países como Peru, Colômbia e África do Sul geram, consideravelmente, menos sucata que o Brasil e a China. Os valores estão apresentados na Figura 3²², onde foi destacada a participação dos Estados Unidos por ser o maior gerador de lixo de informática do mundo.

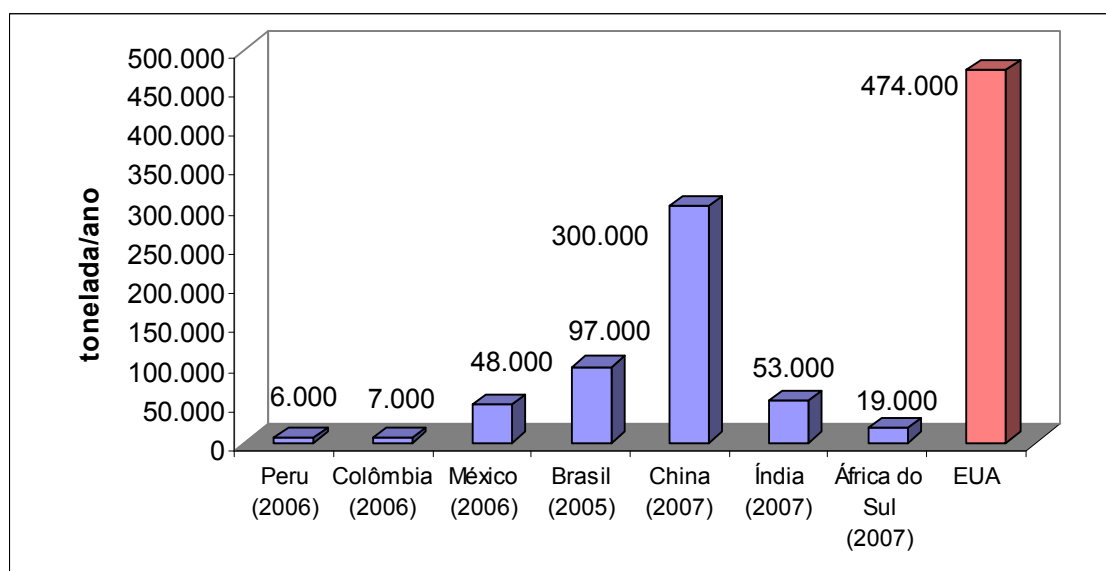


Figura 3: Geração sucata de computadores em tonelada/ano, baseado nos dados das referências 22, 24 e 25.

Levando-se em consideração a geração anual de sucata de computadores *per capita*, entre os países emergentes o Brasil é o campeão, com mais de 0,5 kg de lixo de informática gerados por pessoa, seguido pelo México com 0,48 kg por pessoa. Na China e no Peru a taxa é similar, de 0,23 kg por pessoa e em países como Quênia, Uganda, Senegal, Colômbia e Índia os valores são inferiores a 0,15 kg por pessoa²².

Considerando-se que em 2007 a população dos Estados Unidos era de 301,14 milhões de habitantes³¹, e que foram geradas 475 mil toneladas de lixo eletrônico de computadores, o montante de lixo de informática *per capita* no país americano foi de 1,58 kg. Na Figura 4 são apresentados esses valores. Observa-se que quantidade de computadores descartados por habitante nos EUA é maior que o triplo da quantidade descartada no Brasil.

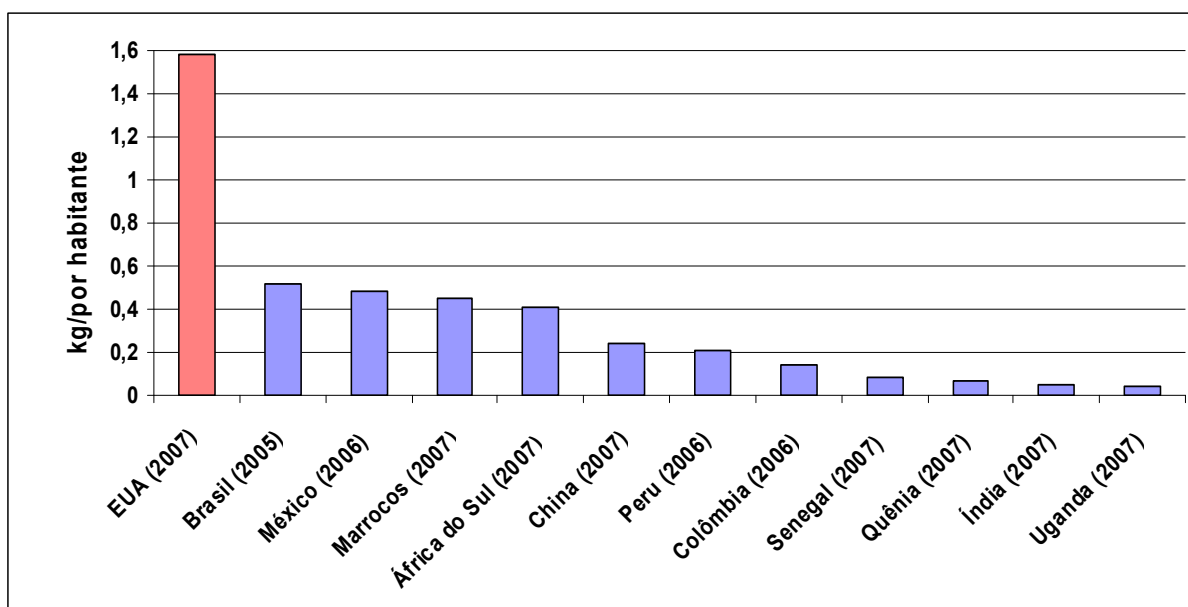


Figura 4: Quantidades de lixo de informática gerado anualmente em kg/por habitante. Gráfico baseado nos dados das referências 22 e 31.

De acordo com Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) o faturamento da indústria da informática no Brasil em 2009 foi de 35 bilhões de reais e a projeção de faturamento para 2010 é de 40 bilhões de reais. O fluxo de comércio de produtos eletrônicos (exportações + importações) na área de informática foi de 2 bilhões de dólares. Em 2008, 18 milhões (31%) de domicílios brasileiros tinham acesso a computadores³². Na Figura 5 é possível visualizar a evolução do mercado brasileiro na venda de computadores (*desktops e notebooks*) entre os anos de 2003 e 2008. Verifica-se que o crescimento do

mercado total é contínuo enquanto o consumo de *notebooks* vem aumentando em detrimento do consumo de *desktops*³³.

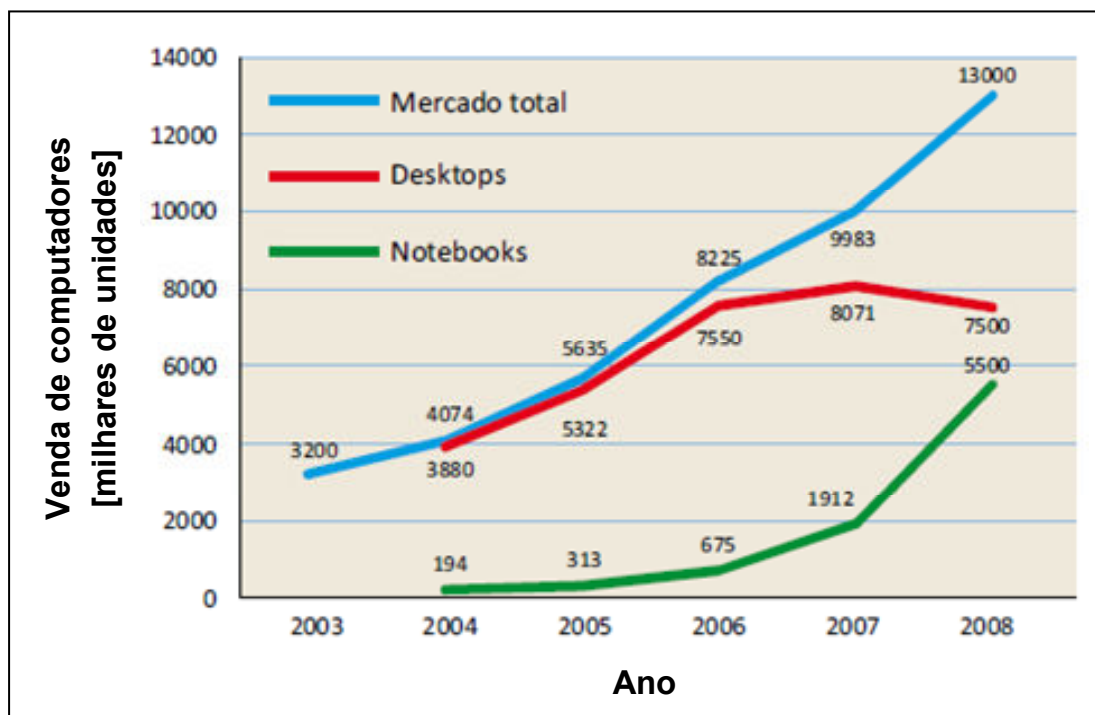


Figura 5: Evolução na venda de computadores no mercado brasileiro em milhares de unidades, análise de 2003 a 2008³³.

Entre 2005 e 2008, a população brasileira cresceu de 183,4 milhões de habitantes para 189,6 milhões, segundo estimativa do IBGE³⁴, resultando numa média anual do crescimento populacional brasileiro de aproximadamente 1,55 milhões habitantes enquanto que a média anual do crescimento da comercialização de computadores no Brasil foi de 1,841 milhões unidades. Assim sendo, verifica-se que o número de computadores vendidos supera consideravelmente o número de novos habitantes^{32,33}.

Se a taxa de aumento de vendas de computadores for mantida, e considerando que o tempo de vida médio de um computador é de 5-8 anos²², pode-se prever que mais de 150 milhões de unidades de computadores serão descartados nos próximos 10 anos. A venda ou a doação desta sucata para recicladores é a opção mais adequada, visto que este material não irá para lixões e aterros. No mercado informal é possível encontrar compradores pagando cerca de R\$7,00 por unidade de computador velho e R\$8,00/kg de placa mãe.

4.1.3 - Legislação para Descarte e Tratamento do Lixo Eletrônico

Legislação Internacional

A legislação internacional no que se refere à gestão de lixo eletrônico está baseada nas diretivas estabelecidas pela Convenção de Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito, adotada sob a égide da Organização das Nações Unidas, concluída em Basileia, Suíça. Trata-se de um acordo internacional que define mecanismos de organização dos movimentos transfronteiriços de resíduos sólidos e líquidos perigosos e sua disposição final. Foi firmado em 1989 e entrou em vigor em 1992. O acordo incentiva a minimização da geração de resíduos perigosos, visa promover o uso de tecnologias limpas, disponibiliza assistência a países em desenvolvimento para o tratamento ecologicamente correto de resíduos e tem como principal objetivo impedir o tráfico ilícito de resíduos perigosos, promovendo mecanismos para monitorar o movimento transfronteiriço (circulação entre fronteiras internacionais) destes materiais. O lixo eletrônico - televisores, computadores, celulares e outros - é considerado um produto com componentes tóxicos por ter em sua composição, por exemplo, chumbo e mercúrio. Atualmente 175 países participam da Convenção, no entanto Haiti, Afeganistão e Estados Unidos são países signatários que não ratificaram o documento^{35,36}.

A legislação do e-lixo na União Européia (UE) está baseada em duas diretivas, ambas aprovadas pelo Parlamento e pelo Conselho Europeu em 2003: (1) RoHS (*Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment*), Diretiva 2002/95/EC, restringe o uso de seis substâncias perigosas (chumbo, mercúrio, cádmio, cromo hexavalente e retardadores de chama como bifenilos polibromados (PPB) e éteres difenílicos polibromados (PBDE) em equipamentos eletro-eletrônicos na etapa de fabricação, que devem ser substituídos por alternativas mais seguras; (2) WEEE (*Waste Electrical and Electronical Equipment*), Diretiva 2002/96/EC, trata da coleta e da reciclagem dos equipamentos eletro-eletrônicos e visa reduzir a quantidade descartada, os estados-membros devem estabelecer um sistema de coleta seletiva, os fabricantes devem implementar a logística reversa e a reciclagem e o consumidor fica proibido de descartar o e-lixo no lixo comum^{37,38}. Em 2004, por exemplo, Portugal transpôs para a ordem jurídica interna ambas as diretivas da União Européia pelo Decreto-Lei N° 230/2004³⁹ e em 2005 a Alemanha uniu as duas diretivas em uma lei própria do país, Lei de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos, conhecida como ElektroG⁴⁰.

Na Ásia, a legislação ambiental é fraca, praticamente inexistente, situação que facilita a recepção de produtos usados de países desenvolvidos. Na China há uma lei chamada *Administration on the Control of Pollution Caused by Electronic Information Products*, em vigor desde 2006, que segue os mesmos padrões da Diretiva RoHS da União Européia. A semelhança está, principalmente, na lista de substâncias nocivas presente em equipamentos eletro-eletrônicos⁴¹. No Japão existe a lei *Home Appliance Recycling Law* aprovada em 1998 e em vigor desde 2001. A lei obriga os fabricantes e importadores a coletar e reciclar seus equipamentos, estipula metas de reciclagem (50 a 60% dependendo do equipamento) e o pagamento pelo consumidor de uma taxa para coleta, transporte e descarte de seus produtos⁴².

Os Estados Unidos possuem 23 estados com legislações próprias que tratam da sucata eletrônica. Por exemplo, a lei aprovada pelo estado da Califórnia difere das demais por cobrar uma determinada taxa do consumidor. A Lei de recuperação de resíduos eletrônicos, do estado da Califórnia, estabelece a redução de substâncias perigosas em produtos eletrônicos vendidos no estado e uma taxa de reciclagem de resíduos eletrônicos no ponto de venda de determinados produtos que visa a criação de um sistema de financiamento para a coleta e reciclagem de e-lixo^{43,9}.

No continente Africano países como África do Sul, Uganda, Marrocos e Senegal não possuem política ou legislação específica de coleta, transporte e reciclagem do lixo eletrônico²².

Na América Latina a situação é igualmente complicada, países como Peru, Colômbia e Argentina também não possuem legislações de gestão do e-lixo. Na Argentina já foram propostos três projetos de lei, mas nenhum conseguiu o apoio necessário para se tornar efetivo⁴⁴.

Legislação Brasileira

A adesão do Brasil à Convenção de Basileia foi ratificada através do Decreto nº 875 de 19 de julho de 1993. Em 1996 o Conselho Nacional do Meio Ambiente aprovou no Brasil a Resolução CONAMA Nº 23, que proíbe e regulamenta a importação/exportação de produtos com os componentes tóxicos descritos na Convenção da Basileia^{45,46}.

Desde 1991 tramitava no Congresso Nacional o projeto de lei para definir a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que foi sancionado somente em 2 de agosto de 2010 pelo Presidente da República tornando-se a Lei Nº 12.305. A PNRS estabelece que os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos eletroeletrônicos e seus

componentes, lâmpadas fluorescentes, pilhas e baterias, pneus, agrotóxicos, óleos lubrificantes e pneus têm a obrigação de estruturar e implantar sistemas de logística reversa, mediante o retorno dos produtos após o uso pelo consumidor. Tem como metas estabelecidas a eliminação e recuperação de lixões e a utilização dos 3R's (reduzir, reutilizar e reciclar) para reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final⁴⁷.

Em 2002 o estado de Pernambuco aprovou um decreto para a Política Estadual de Resíduos Sólidos, Decreto Estadual N° 23.941. Neste documento os componentes eletrônicos estão classificados como resíduo especial⁴⁸.

Em Santa Catarina foi promulgada a Lei N° 13.557, de 17 de novembro de 2005, que dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos. No ano de 2008 foi sancionada a alteração na Lei pela inclusão do lixo tecnológico como um resíduo sólido, obrigando fabricantes, importadoras e demais empresas que comercializam eletrônicos a dar destino adequado aos equipamentos inutilizados^{49,50}.

O Decreto Estadual N.º 45.554, de 19 de março de 2008 regulamentou a Lei N° 11.019/97, de 23 de setembro de 1997, e suas alterações no estado do Rio Grande do Sul. O Decreto dispõe sobre o descarte e destinação final de pilhas que contenham mercúrio metálico, lâmpadas fluorescentes, baterias de telefone celular e demais artefatos que contenham metais pesados. As placas de computadores e afins estão descritas como resíduos sólidos do pós-consumo no Art.2º⁵¹.

No Rio de Janeiro há um Projeto de Lei N° 1937/2004, específico para o lixo eletrônico, que determina o estabelecimento de normas e procedimentos para o gerenciamento e destinação de lixo tecnológico⁵².

O Estado de São Paulo já possui uma legislação específica para a questão da sucata eletrônica, a Lei N° 13.576, de 6 de julho de 2009, que institui normas e procedimentos para a reciclagem, gerenciamento e destinação final de lixo tecnológico. Os componentes eletroeletrônicos descartados devem receber destinação final adequada, não provocando danos ou impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade e os fabricantes, importadores e comerciantes ficam responsáveis pela destinação final do material⁵³.

4.1.4 - Gestão do Lixo Eletrônico

Gestão no Mundo

As diferenças na gestão do lixo eletrônico entre os países desenvolvidos e os emergentes são grandes. Os EUA e os países que compõem a União Européia se destacam frente à maioria dos países da África, Ásia e América Central e do Sul nas estratégias e tecnologias utilizadas para o recolhimento e tratamento do lixo eletrônico.

Os países que fazem parte da União Européia seguem a Diretiva de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE)³⁸ que estabelece que os fabricantes são responsáveis pela coleta (*take back*), tratamento e reciclagem de seus equipamentos em fim de vida útil. A UE criou em 2002 a Plataforma Européia de Reciclagem (ERP), o primeiro plano do sistema europeu de coleta da sucata eletrônica – *take back* – para executar a Diretiva REEE. A ERP tem o objetivo de implementar de maneira eficaz a Diretiva, possibilitando uma melhor gestão dos recursos europeus, beneficiando as empresas associadas, clientes, consumidores e o meio ambiente e a sociedade. Desde o início das operações, em 2005, foram coletadas e recicladas mais de 700 mil toneladas de REEE. Em 2009, a ERP estava operando em 11 países da UE, atendendo mais de 1.300 clientes (produtores e varejistas) e no mesmo ano o projeto *take back* expandiu-se para baterias, abrangendo inicialmente 6 países. A ERP estabeleceu a concorrência no mercado de resíduos eletro-eletrônicos, estimulando a criação de novas organizações *take back* de REEE em vários estados-membros da UE. Devido à concorrência, o custo dos serviços de coleta e reciclagem foi significativamente reduzido, favorecendo o consumidor⁵⁴.

Na União Européia existem 50 organizações de coleta e reciclagem (CROs), criadas por produtores, varejistas e recicladores, que trabalham principalmente com a reciclagem e tratamento de resíduos. Na maioria dos países apenas os volumes de REEE administrados pelas CROs são contados como "resíduos eletrônicos recolhidos e reciclados". No entanto, cerca de 70% dos resíduos são vendidos pelos municípios e varejistas a sucateiros e intermediários e sendo que apenas 30% do fluxo (considerada a fração não valiosa dos resíduos eletro-eletrônicos) são gerenciados pelas CROs.

As opções dos consumidores europeus para descarte de eletrônicos são: a coleta municipal; a coleta varejista, a coleta por organizações sociais de coleta e a reutilização no mercado.

- Coleta Municipal: A coleta é gerenciada e financiada pelas autoridades locais, entidades de gestão pública de resíduos. Os municípios entregam o material às CROs, que são indicadas

pelos fabricantes, varejistas e/ou empresas de reciclagem. Em 2008, cerca de 10 milhões de toneladas de resíduos eletrônicos foram descartados pelos consumidores e aproximadamente 5,6-6 milhões de toneladas foram gerenciados por municípios. Considerando um valor médio de 50-80 €/t, os municípios venderam a sucata eletrônica pelo montante de 280-480 milhões de euros a empresas recicladoras e sucateiros.

- Coleta Varejista: É realizada pelos próprios varejistas ou por seus parceiros de logística e é administrada e financiada por ou em nome dos varejistas. Os aparelhos antigos, de pequeno porte, como máquinas de barbear, celulares, etc., podem ser deixados, pelos consumidores, nas lojas. No caso de eletrônicos de grande dimensão, o aparelho antigo é recolhido quando o novo equipamento é entregue na residência. Neste caso, normalmente há uma taxa paga pelos consumidores para financiar a coleta e o transporte.

- Organização Social de Coleta: O principal objetivo é proporcionar a entrada de materiais e de benefícios financeiros para organizações sociais. As doações de consumidores ou dos municípios podem ser realizadas diretamente na organização ou a própria organização organiza redes de coleta de porta em porta e em eventos sociais. Os equipamentos restaurados são vendidos por um baixo valor ou doados a instituições de caridade.

- Reutilização no Mercado: A comercialização de aparelhos usados tem crescido consideravelmente nas comunidades carentes e principalmente através de sites de venda na internet. Este tipo de mercado, chamado de mercado de segunda mão, estende a vida útil de um equipamento, retardando o descarte final⁵⁵.

Nos países da África não há legislação para o tratamento do lixo eletrônico, normalmente a sucata é depositada em lixões a céu aberto, sem nenhum cuidado com a saúde e com o meio ambiente. A África do Sul, por exemplo, é um país onde não há investimentos e tecnologias para lidar com o lixo eletrônico.

Com o apoio do programa "Parceria global de conhecimento em reciclagem de lixo eletrônico", iniciado pela Secretaria de Estado da Economia da Suíça (SECO) e executado pelo Laboratório Federal Suíço para Teste de Materiais e Pesquisa (EMPA), foram iniciados com sucesso projetos em três províncias da África do Sul (KwaZulu-Natal, Gauteng e Cabo Ocidental) no ano de 2004. Além disso, algumas empresas internacionais de tecnologia da informação têm apoiado e mostrado interesse nas iniciativas para lidar com a sucata eletrônica na África do Sul. Contudo os custos necessários para coleta e desmantelamento da sucata são muito elevados no país.

A Associação do e-lixo da África do Sul (eWASA), criada em 2008, é uma organização sem fins lucrativos que trabalha em parceria com fabricantes, vendedores e

distribuidores de produtos eletro-eletrônicos e manipuladores de lixo eletrônico (restauração, desmantelamento e reciclagem) para gerenciar, de forma eficaz, o estabelecimento de um sistema de gestão ambientalmente sustentável de resíduos para o país. Não há na África do Sul, nem mesmo as credenciadas na eWASA, nenhuma empresa de reciclagem similar às existentes nos estados europeus⁵⁶.

Nos países Asiáticos, um dos principais problemas enfrentados é a importação de lixo eletrônico, oriundos de países desenvolvidos. As importações ilegais juntamente com a precária legislação dos países do continente e o baixo investimento para o tratamento dos resíduos eletrônicos dificultam o processo de gestão do lixo eletrônico.

As instituições autorizadas a reciclar e-lixo na Índia coletam apenas 3% do total de lixo eletrônico gerado, o restante é direcionado à reciclagem informal em grandes cidades como Delhi, Mumbai e Bangalore. As empresas vendem seus resíduos eletrônicos no mercado informal para obter lucro mais rapidamente, sem perceber os riscos provocados à saúde e ao meio ambiente. A solução seria pôr em prática a Responsabilidade Individual do Produtor (IPR), na qual os proprietários de marcas ou fabricantes de produtos eletrônicos assumem a responsabilidade e o financiamento do tratamento da própria marca e dos resíduos descartados por seus clientes. Na Índia, algumas marcas já iniciaram programas de retomo do material. No entanto, 9 das 20 marcas pesquisadas, pelo Greenpeace⁵⁷, sobre a prática *take back* não têm nenhum serviço de devolução, como por exemplo a Apple, a Microsoft, a Panasonic, a Philips, a Sony e a Toshiba. Além disso, as empresas que aderiram ao programa não vêm trabalhando com eficiência, a Samsung, por exemplo, tem apenas um ponto de coleta para toda a Índia e somente para os celulares da marca.

Na China, o sistema de reciclagem de lixo eletrônico não é o mais adequado. A maioria do lixo eletrônico é desmantelada em pequenas oficinas através de métodos simples, tais como desmontagem manual e incineração. Tanto o lixo eletrônico gerado na China como o importado de outros países são coletados e tratados basicamente de duas maneiras: (1) coleta através de coletores individuais, o material é comprado e são realizados alguns reparos para revender como produto usado ou o material é vendido, sem qualquer valor de uso, para locais que irão realizar o desmantelamento. Normalmente são locais sem equipamentos adequados, o e-lixo é tratado manualmente e depois da retirada da parte valiosa o restante é abandonado ou enterrado; (2) coleta por usinas de reciclagem específicas para o lixo eletrônico, onde o consumidor paga uma taxa pela coleta. Esse método não tem obtido alto índice de aprovação devido à necessidade deste pagamento. Nos últimos anos, tem crescido a

coleta realizada nas lojas de eletrodomésticos, onde um desconto é oferecido ao consumidor na compra de um novo equipamento quando é entregue o antigo⁵⁸.

No Japão, para financiar a aplicação da Lei de Reciclagem de Eletrodomésticos, existe um sistema de reciclagem em que o consumidor paga uma taxa para coleta, transporte e reciclagem do equipamento a ser eliminado a uma loja de eletrodomésticos. O lojista tem a responsabilidade de recolher os aparelhos que foram vendidos e entregá-los ao seu fabricante e o fabricante é responsável pelo tratamento e reciclagem. A taxa é relativamente uniforme dentro das categorias de cada produto, no entanto, cada empresa define o valor a ser cobrado (dependendo do gasto com a coleta e dos valores pagos às recicladoras). Os fabricantes são divididos em dois grupos, A e B: o grupo A envia sua sucata para uma usina de reciclagem nas instalações da fábrica (o fabricante trata e recicla internamente) ou para uma recicladora designada, já o grupo B transporta o material coletado para a usina de reciclagem designada mais próxima^{42,58}.

Os Estados Unidos destaca-se por apresentar legislação para o tratamento e coleta do lixo eletrônico. Cada estado dos EUA tem suas próprias leis e administra o lixo eletrônico de uma forma diferente. O Canadá tem um sistema de gestão semelhante ao utilizado no estado da Califórnia, nos EUA. Já em outros países do continente americano, como Argentina, Peru e Colômbia, tanto a legislação quanto a gestão do lixo eletrônico é precária, assim como nos demais países emergentes.

Nos Estados Unidos existe a Rede de Ação da Basiléia (BAN), organização sem fins lucrativos que tem como objetivo combater as injustiças ambientais e impedir o despejo insustentável de resíduos tóxicos. A BAN trabalha para assegurar a auto-suficiência nacional na gestão de resíduos. Em 2010 criou o programa de certificação *e-Stewards* para padronizar a reciclagem de eletrônicos nos EUA. O programa é periodicamente auditado e as empresas de reciclagem pagam uma taxa de auditoria e uma taxa de licenciamento à BAN. Este programa é uma alternativa para diferenciar as melhores empresas do setor daquelas que operam de forma ilegal e/ou informal. É uma garantia que a empresa irá lidar conscientemente com lixo eletrônico e com compostos perigosos, protegendo o meio ambiente e a sociedade. No site da Iniciativa *e-Stewards* (<http://e-stewards.org/>) é possível encontrar as empresas recicladoras certificadas espalhadas pelos EUA através de um sistema de busca no mapa do país e de uma lista contendo todas as localizações e serviços prestados^{59,60}.

A legislação do estado da Califórnia difere-se das legislações dos demais estados. Estabelece uma taxa de reciclagem para produtos de *display* de vídeo com tubos de raios catódicos (CRT), monitores com tubos de raios catódicos, computadores portáteis com tela de

crystal líquido (LCD) e televisores. A taxa que varia de 8 a 25 dólares dependendo do tamanho da tela é recolhida no momento da venda do equipamento. Os fabricantes são obrigados a informar aos varejistas quais os produtos que estão sujeitos à taxa e aos consumidores o destino do equipamento (coleta, reciclagem e descarte). O lucro é revertido aos coletores e recicladores autorizados. A intenção é reduzir e/ou eliminar os custos associados à adequada reciclagem deste material⁶¹.

Gestão no Brasil

No Brasil, a gestão do lixo de informática ainda não está bem equacionada. Atualmente existem poucas empresas especializadas na reciclagem de equipamentos eletrônicos, utiliza-se de mão-de-obra barata para executar tarefas simples e pouco planejadas e nem todos os produtores se responsabilizam pelo tratamento de seus produtos.

A completa reciclagem do lixo eletrônico ainda não ocorre no Brasil. Materiais como plástico, madeira e vidro são reciclados em território nacional, porém o refino dos metais não é feito no Brasil, as placas de circuito impresso são trituradas e exportadas para países como Canadá, Bélgica e Cingapura²².

O estado de São Paulo destaca-se entre os demais estados brasileiros. É o único estado com legislação específica para o lixo eletrônico e a grande maioria da gestão do lixo eletrônico do país está centralizada no estado de São Paulo.

O CEMPRE – Compromisso Empresarial para a Reciclagem – fundado em 1992, é uma organização não governamental, mantida por empresas privadas de diversos setores, que incentiva a reciclagem no Brasil. A organização trabalha para conscientização da sociedade sobre a importância da aplicação dos 3Rs - redução, reutilização e reciclagem - de lixo através de publicações, pesquisas técnicas, bancos de dados, entre outros.

Recentemente, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) firmou uma parceria com o CEMPRE para a realização de um estudo qualitativo sobre o atual cenário da reciclagem de eletroeletrônicos no Brasil. A organização criou um comitê de trabalho para acompanhar as discussões sobre a reciclagem de eletroeletrônicos no país, o comitê é integrado por empresas do setor, fabricantes ou varejistas. De acordo com o comitê, aproximadamente, 30% do mercado eletroeletrônico no Brasil é informal^{62,63}.

Para o descarte ecologicamente correto e reciclagem da sucata eletrônica o brasileiro tem algumas opções, tais como:

- Projetos que recebem doações de computadores

Comitê para Democratização da Informática (CDI)⁶⁴ – É uma ONG criada em 1995 e foi a pioneira no movimento de inclusão digital na América Latina, a sede matriz está localizada no estado do Rio de Janeiro. Os computadores e periféricos utilizados são adquiridos através de doações, o equipamento não precisa ser novo, só necessita estar funcionando. O CDI atua em 20 estados brasileiros e em 13 países, mais de 1,3 milhões de pessoas já passaram pelos centros de inclusão criados pela organização, 65% dos beneficiários têm entre 10 e 18 anos.

MetaReciclagem⁶⁵ – Tem como focos a criação de centros de MetaReciclagem e a inclusão social através da tecnologia. Hoje cerca de 10 projetos estão em funcionamento e 8 em planejamento no Brasil, o grupo ainda conta com seguidores por todo país. Os computadores obsoletos são coletados e a sucata é transformada em novos computadores. A reciclagem ocorre em centros dentro das comunidades carentes e a máquina pronta passa a pertencer àqueles que as reciclaram, não mais ao projeto, tornam-se produtos para serem utilizados pela comunidade.

Centro de Recondicionamento de Computadores (CRC-CESMAR)⁶⁶ – Criado em 2006, foi o primeiro centro de recondicionamento de computadores da América Latina. É um projeto da Rede Marista realizado, em parceria com o Governo Federal, com sede em Porto Alegre/RS. São realizadas as atividades de reciclagem e recuperação de equipamentos de informática para doação das máquinas a entidades, escolas e telecentros (locais de acesso público à informática) em todo o país.

Museu do Computador⁶⁷ – Há mais de 12 anos o Museu recebe doações de computadores, telefones, máquinas de escrever e de calcular e outros, existem 9 postos de coleta espalhados por São Paulo e 1 no Rio de Janeiro. O material coletado e separado pode ir para o acervo do Museu ou para a reciclagem (o material é separado e encaminhado às devidas recicladoras). Quando sobram equipamentos em funcionamento esses são doados a comunidades carentes.

- Fabricantes

Os fabricantes são obrigados a coletar e dar o destino correto aos produtos de suas marcas e cada empresa possui uma política diferente de reciclagem.

A fábrica de computadores Dell⁶⁸ oferece ao consumidor reciclagem gratuita dos equipamentos de computação de sua própria marca, sem a necessidade de aquisição de um novo produto. No caso de computadores de outras marcas é necessária a compra de um novo equipamento Dell. A coleta dos computadores e periféricos obsoletos é realizada na própria residência e/ou escritório do consumidor. Os computadores que podem ser reutilizados são encaminhados para projetos sociais.

O grupo Itautec Philco⁶⁹ também recicla os resíduos eletro-eletrônicos gratuitamente. Criado nas dependências da fábrica em Jundiaí – SP, o centro de reciclagem custou cerca de R\$ 350 mil. No local os materiais são recebidos, desmontados, descaracterizados, separados e encaminhados a parceiros que irão utilizar o material como matéria-prima para a confecção de outros produtos. Em 2008 a Itautec tratou 469,97 t de eletrônicos obsoletos.

- E-lixo Maps⁷⁰

O projeto surgiu através de uma parceria entre a Secretaria de Meio Ambiente do estado de São Paulo e o Instituto Sergio Motta. O objetivo é informar e facilitar o acesso da população aos locais de coleta e/ou reciclagem da sucata eletrônica na cidade de São Paulo. Um banco de dados contendo os postos de coleta (cerca de 200 postos cadastrados) foi associado à plataforma do Google Maps. Para a utilização do sistema, basta entrar no site (www.e-lixo.org), digitar o CEP e o tipo de lixo a ser descartado e automaticamente irão aparecer os locais mais próximos para o devido descarte.

- Centro de Descarte e Reuso de Resíduos de Informática (CEDIR-USP)⁷¹

Com sede na Universidade de São Paulo, o centro foi inaugurado em dezembro de 2009 coletando material da própria universidade e desde março de 2010 o projeto foi ampliado para o recebimento de material descartado pela população. O CEDIR recebe equipamentos de informática e telecomunicações e realiza os trabalhos de reutilização, descarte e reciclagem sustentável da sucata eletrônica ou material obsoleto. Os computadores em funcionamento são restaurados e encaminhados a projetos sócio-educativos, já o material danificado passa por um processo de separação dos componentes que posteriormente são encaminhados para a devida reciclagem.

- Empresas Recicladoras

No Brasil não existe a tecnologia para reciclagem de materiais como placas de circuito impresso. Realiza-se no país somente a trituração e exportação do material triturado, o refino dos metais presentes nestes componentes é realizado em países como Alemanha, Bélgica, Cingapura, Canadá e EUA^{22,72}. No Brasil existem (1) empresas que coletam a sucata, realizam a triagem, trituram e encaminham e/ou exportam para recicladoras que irão utilizar o material como matéria-prima para outros produtos, (2) empresas que coletam e também reciclam, mas que exportam as placas de circuito impresso para recicladoras internacionais e (3) as recicladoras internacionais com sede no Brasil que realizam a coleta do lixo brasileiro, mas o processo de reciclagem é realizado em outra sede da empresa, no exterior.

A Umicore⁷³, por exemplo, é líder mundial no refino de metais preciosos e atua no Brasil desde 2005 na área de reciclagem de metais, sua planta de refino está localizada na Bélgica. A sucata eletrônica (celulares e placas de circuito impresso) e as baterias recarregáveis são recolhidas e encaminhadas à sede brasileira que exporta o material. A Umicore da Bélgica trata da sucata eletrônica (análise, refino, recuperação metais) e a Umicore da Suécia trata as baterias (processamento, fundição, recuperação de metais).

Algumas empresas recicladoras em atuação no Brasil e seus principais focos de atuação estão descritos a seguir:

- ⇒ Ativa Reciclagem¹⁷ – localizada em Guarulhos/SP, realiza o desmanche e a descaracterização da sucata de informática. É especializada na reciclagem de lâmpadas, reatores e CRT.
- ⇒ Cimelia⁷⁴ – a planta principal está situada em Cingapura, possuem postos de coleta em países como Brasil, EUA, Alemanha, Malásia, Japão e Índia, a Cimelia Brasil está situada em Campinas/SP. É uma empresa com tecnologia de ponta, que recicla 100% da sucata eletroeletrônica em sua planta de Cingapura.
- ⇒ IZN Recycle Brasil⁷⁵ – a empresa realiza a coleta de lixo de informática, tem sede em Porto Alegre/RS. O material é separado e processado, os equipamentos são desmontados, descaracterizados, classificados e enviados para reciclagem.
- ⇒ Lorene⁷⁶ – com sede em SP, tem três filiais brasileiras e filiais internacionais nos EUA, Bolívia, Chile, Venezuela, Israel e Japão. A empresa compra a sucata que irá passar pela triagem, separação, trituração, ensacamento e exportação. Não trabalham com monitores e periféricos (mouse, impressoras, teclados).

- ⇒ Oxil⁷⁷ – desde 1998 realiza a destinação final de equipamentos e componentes eletrônicos defeituosos, refugos de linha de produção, produtos obsoletos, etc. A Oxil realiza a descaracterização, a desmontagem e a reciclagem de produtos e equipamentos, transformando em matéria-prima reutilizável.
- ⇒ Peacock⁷⁸ – localizada em Porto Alegre/RS, a empresa realiza a coleta e a reciclagem de equipamentos como computadores, monitores, telefones, impressoras e eletrodomésticos. O e-lixo é recolhido em postos de coleta, e encaminhado à empresa, lá o material é desmontado e separado por tipo (plásticos, metais, fios e cabos, placas e circuitos, etc), posteriormente é destinado a empresas parceiras que irão reciclar o material.
- ⇒ Suzaquim⁷⁹ – localizada na cidade de Suzano-SP, a empresa coleta resíduos industriais, pilhas, baterias e resíduos tecnológicos para a reciclagem e reprocessamento, o material obtido é utilizado para produção de sais e óxidos metálicos.
- ⇒ TCG Recycling⁸⁰ – fundada em 1999 no estado da Flórida/EUA, o grupo têm instalações em localidades como México, Inglaterra, Israel, Índia e Brasil. É uma empresa que realiza a reciclagem completa do lixo de informática, atuando na revitalização e reutilização do produto, logística reversa e refino de metais preciosos.

4.2 - Reciclagem do Lixo de Informática

4.2.1 - Reciclagem de Computadores

Usualmente, o processo de reciclagem do lixo de informática inicia com a coleta e/ou recebimento do material obsoleto. Após, os equipamentos passam por uma triagem que irá definir se o computador e/ou monitor está funcionando, aqueles em condições de uso são encaminhados para projetos de inclusão digital de comunidades e escolas.

O computador, ao fim de sua vida útil, é desmontado, os componentes são separados (plásticos, metais, placas de circuito impresso, etc.) e descaracterizados, o volume é reduzido por trituração e/ou compactação (para minimizar os custos de transporte) e por fim, é encaminhado para adequada reciclagem^{81,82}. A reciclagem pode ocorrer diretamente nos centros que realizam a separação, se possuírem estrutura para tal atividade, ou em recicladoras especializadas (por exemplo, recicladoras de plástico). Na Figura 6 é possível visualizar o fluxograma do processo inicial de reciclagem.

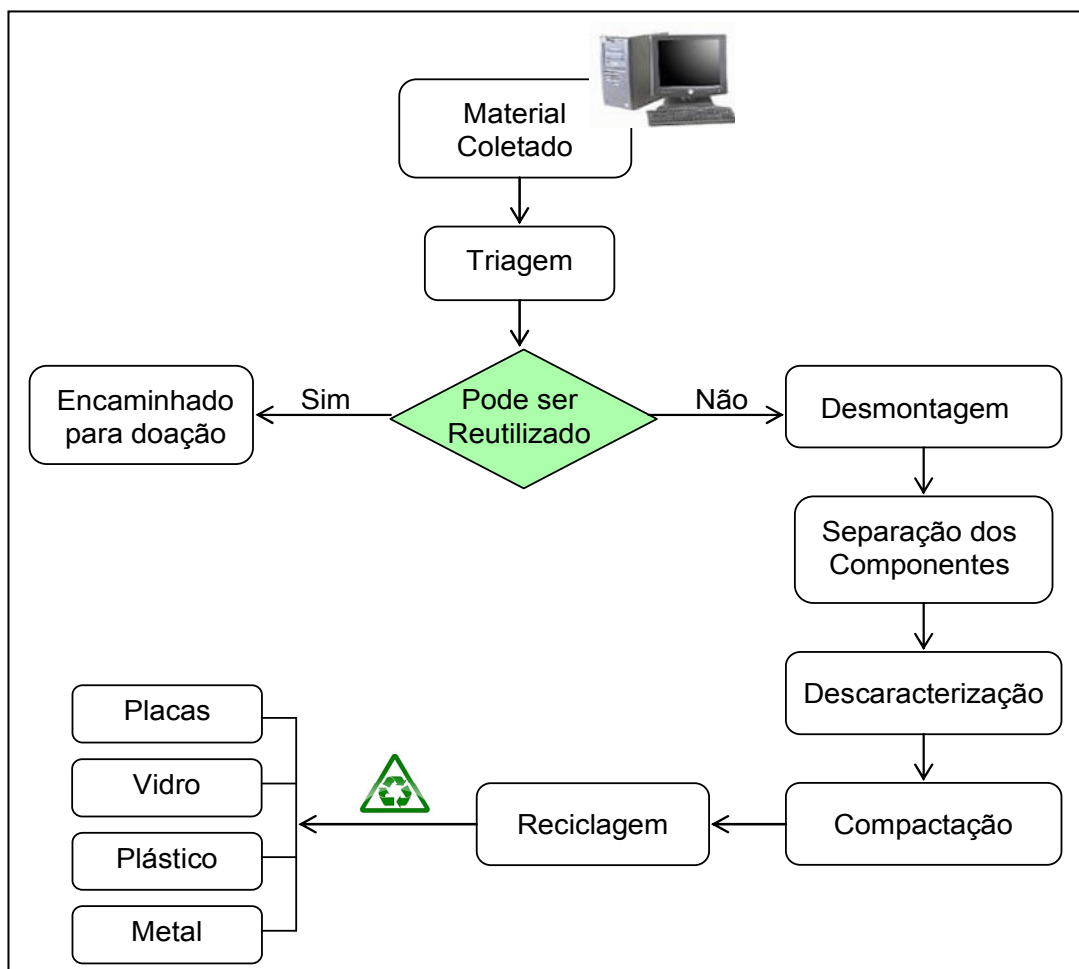


Figura 6: Fluxograma do processo inicial de reciclagem de computadores. Baseado nas referências 81 e 82.

A patente de Barker Jason Richard e Doherty Francis Julian⁸³, *Disposal of electrical waste*, fornece um método para eliminação de resíduos de equipamento eletrônico. Refere-se a etapas como: desmantelamento manual (placas de circuito, metais, plásticos e componentes de vidro), tratamento dos materiais plásticos em produtos utilizáveis, separação mecânica dos componentes eletrônicos das placas de circuito impresso, moagem e derretimento do vidro, separação de contaminantes do vidro e um método para fabricação de materiais a partir dos resíduos, para utilização na indústria da construção.

4.2.2 - Reciclagem de Monitores

Conforme mencionado anteriormente, os monitores de computadores (PC) e os televisores anteriormente feitos de tubos de raios catódicos (CRT) foram substituídos por telas LCD ou LED. Os s monitores CRT obsoletos necessitam de reciclagem, porém devido ao alto índice de contaminantes, principalmente fósforo e chumbo, e da dificuldade de descontaminação são poucas as recicladoras que realizam o tratamento destes monitores. Um processo para a reciclagem de monitores CRT é apresentado na Figura 7.

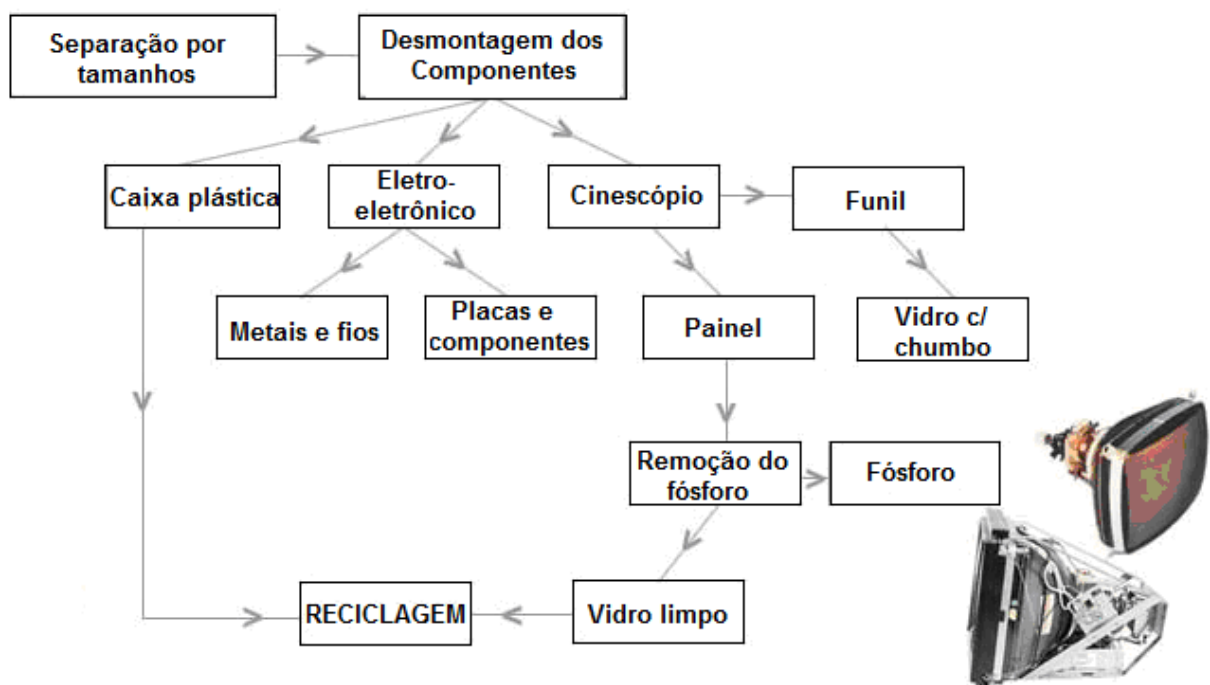


Figura 7: Reciclagem de Monitores CRT¹⁷.

As partes do gabinete e peças internas são separadas e acondicionadas em recipientes específicos, de acordo com os tipos de materiais. O tubo de raio catódico é composto pelo painel frontal, contendo pó de fósforo e pelo funil de vidro com chumbo, alguns vidros de CRT são compostos com 25% de óxido de chumbo (PbO)^{17,84}. Para separar o painel do funil o método convencional utilizado é um fio aquecido eletricamente em volta da junta que une ambas as partes. No entanto, o processo é demorado e pequenas imperfeições podem ocorrer no processo de separação. Uma nova tecnologia de separação, empregada na fábrica da Panasonic no Japão, utiliza raios laser para separar o painel e o funil, desta forma o processamento do monitor torna-se três vezes mais rápido do que com método anterior⁸⁵.

O pó de fósforo é aspirado do painel e o vidro limpo é enviado à fundição tornando-se novamente matéria-prima. O funil de vidro contendo chumbo pode ir para a fundição de chumbo, que irá utilizar um processo térmico para recuperar o metal. Porém, o processo mais utilizado é o “vidro para vidro”, que se constitui em um circuito fechado de reciclagem de vidros de CRTs, o vidro é utilizado como matéria-prima para a confecção de novos CRTs^{9,84}.

4.2.3 - Reciclagem dos Plásticos

O material plástico que compõe teclados, mouses, monitores e CPUs são as resinas termoplásticas, principalmente ABS (copolímero derivado dos três monômeros: acrilonitrila, butadieno e estireno), poliestireno de alto impacto (HIPS) e PVC (policloreto de vinila)^{86,87}.

O maior volume, aproximadamente 26%, do plástico utilizado em aparelhos eletrônicos é o PVC que é um bom isolante térmico e elétrico, resistente a choques e não propaga chamas, no entanto, pela queima pode formar dioxinas (organoclorados carcinogênicos e teratogênicos)⁸⁷⁻⁸⁹. O ABS é uma resina que apresenta resistência química, alto brilho e boa relação custo-benefício, porém tem como desvantagens a inflamabilidade e a suscetibilidade à degradação termo e foto-oxidativa⁹⁰.

Os termoplásticos são plásticos que podem ser transformados, processados e reprocessados. Produtos gerados com a matéria-prima reciclada consomem 70% menos energia do que a produção de plásticos novos. O reaproveitamento pode ser feito através de reciclagem energética, reciclagem química ou reciclagem mecânica^{91,92}.

- Reciclagem Energética

Os resíduos plásticos são utilizados como combustível na geração de energia elétrica. O calor liberado com a incineração do plástico é similar ao liberado com a queima de óleo

combustível (1 kg de plástico libera energia equivalente à queima de 1 kg de óleo combustível)⁹².

Quando o plástico contém poluentes como metais pesados volatilizáveis e/ou halogênios, esse método de reciclagem não deve ser utilizado, pois compostos tóxicos poderão ser liberados na atmosfera. Assim sendo, para resíduos de computadores a incineração não é o método mais indicado, como foi mencionado acima a queima do PVC forma como subproduto as dioxinas e furanos.

- Reciclagem Química

Neste caso, o plástico é reprocessado por aquecimento sendo obtidos monômeros ou hidrocarbonetos que serão utilizados novamente na indústria petroquímica para a produção de novos plásticos. O custo, para a realização deste tipo de reciclagem, é muito elevado, não sendo atrativo para as empresas. Os principais contaminantes do processo químico são tintas, papéis, colas e gorduras⁹².

Os processos para a reciclagem química são divididos basicamente em solvólise (hidrólise, alcoólise, glicólise) e termólise (hidrogenação, gaseificação e pirólise)^{93,94}.

A solvólise utiliza um solvente para a recuperação dos produtos e a temperatura empregada é um pouco superior à temperatura de fusão do polímero ou à ebulição do solvente. Pode ser de 3 tipos:

- (1) Hidrólise: a recuperação dos monômeros de partida ocorre pela reação com excesso de água à alta temperatura na presença de um catalisador;
- (2) Alcoólise ou Metanólise: o material é tratado com excesso de metanol;
- (3) Glicólise: o polímero é tratado com excesso de glicol e irá ocorrer uma reação de transesterificação.

A reciclagem do plástico pelo processo de termólise é conhecida como reciclagem termoquímica, o calor é o principal responsável pela ruptura da estrutura polimérica. São conhecidos 3 processos:

- (1) Pirólise: ocorre a quebra, ruptura, da estrutura molecular original pela ação do calor em um ambiente sem oxigênio. Normalmente, ocorre em forno a vácuo, na faixa de temperatura de 400 a 800 °C. Por este processo são obtidas frações de hidrocarbonetos;
- (2) Gaseificação: é inserido oxigênio no processo de aquecimento e ocorre a combustão do material. Em temperaturas entre 1200 e 1500 °C são recuperados CO e H₂ (gás de síntese) e pequenas quantidades de CH₄, CO₂, H₂O e alguns gases inertes;

(3) Hidrogenação: é feito um tratamento térmico de aquecimento seguido de uma saturação com hidrogênio. As cadeias poliméricas são quebradas, obtendo-se hidrocarbonetos leves como metano, etano e propano.

- Reciclagem Mecânica

A reciclagem mecânica é a mais conhecida, principalmente por ter um baixo custo e gerar produtos com boa qualidade. É a técnica mais utilizada no Brasil.

O processo consiste em transformar o plástico em grânulos que poderão ser reutilizados para a produção de outros produtos. A estrutura básica do processo de reciclagem passa pelas etapas de separação, moagem, lavagem, secagem e extrusão, apresentado na Figura 8^{92,94}.

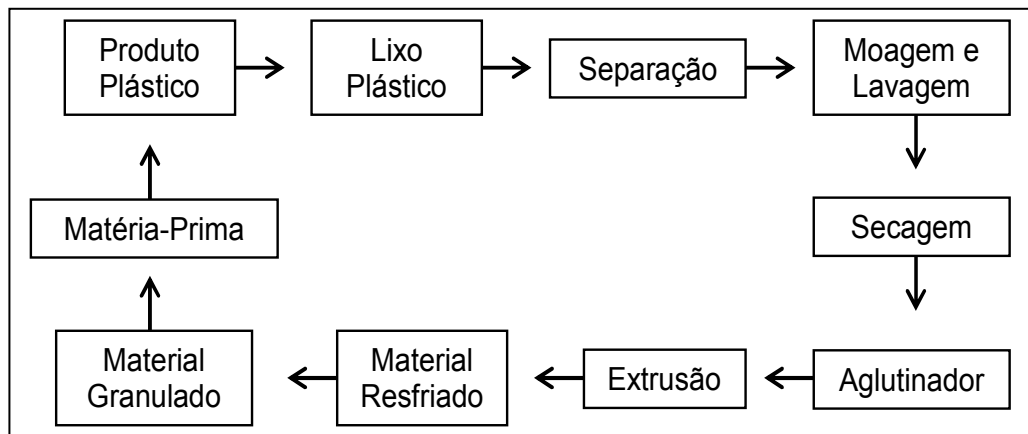


Figura 8: O processo de reciclagem mecânica do plástico. Baseado na referência 92.

⇒ Separação: triagem por tipo de plástico

⇒ Moagem: no moinho ocorrerá a etapa de trituração do plástico em partes menores.

⇒ Lavagem: o material moído é lavado com água para a retirada de impurezas.

⇒ Secagem: elimina o excesso de água. É uma etapa importante, pois alguns polímeros podem sofrer hidrólise na etapa de reprocessamento caso a água não seja retirada.

⇒ Aglutinação: o material é compactado e são adicionados aditivos como cargas e pigmentos.

⇒ Reprocessamento: o material é encaminhado para a extrusora e irá passar por uma matriz adquirindo assim uma forma pré-determinada.

Ernani Kopper⁹⁵ é o autor da patente Processo de Recuperação de Termoplástico Reciclado que utiliza tecnologia simplificada, modula e minimiza máquinas e equipamentos para o processamento de lixo termoplástico. Propõe mini-usinas de recuperação do material, melhorando a qualidade final do plástico reciclado para o reprocessamento.

4.2.4 - Reciclagem das Placas de Circuito Impresso

O tratamento de uma placa de circuito impresso (PCI) é complexo, assim, várias tecnologias têm sido desenvolvidas e/ou aprimoradas para a reciclagem deste componente presente em todos os computadores. Os processos para reciclagem de uma PCI podem ser mecânicos, químicos ou térmicos.

Os principais processos são pirometalurgia, hidrometalurgia, eletrometalurgia, biotecnologia e processos mecânicos (cominuição, classificação e separação). Dentre os tratamentos possíveis, o tratamento mecânico é o menos agressivo ao meio ambiente e aos seres humanos por gerar menos resíduos contaminantes^{7,17}.

4.2.4.1 - Pirometalurgia

É um processo metalúrgico que utiliza altas temperaturas podendo produzir metais puros, ligas ou compostos intermediários. A pirometalurgia requer elevado consumo de energia para atingir as temperaturas adequadas para cada etapa do processo. Essa energia, normalmente, é fornecida pela queima de combustíveis fósseis, por reações exotérmicas que ocorrem nas diferentes etapas ou aquecimento elétrico. Um processo pirometalúrgico é constituído de uma série de etapas que vai desde a secagem da matéria-prima até o refino do produto final. A etapa de transformação química a ser utilizada vai depender do material de partida. As mais conhecidas são calcinação (decomposição pelo calor de um composto na presença de oxigênio), ustulação (calcinação aplicada a sulfetos) e pirólise (decomposição de um determinado composto pela ação do calor em um ambiente com pouco ou nenhum oxigênio)^{96,97}. Um dos maiores problemas da utilização de processos pirometalúrgicos é a possibilidade de emissão de compostos tóxicos como por exemplo, as dioxinas liberadas pela queima dos polímeros clorados.

Em 2008, Guan et al.⁹⁸, estudaram a pirólise como uma alternativa à reciclagem de placas de circuito impresso. Durante o processo de pirólise, a parte orgânica é decomposta em piro-óleos e piro-gases. A pirólise foi realizada em um reator acoplado a um forno tubular, sob atmosfera de nitrogênio. A amostra foi aquecida a uma taxa de 10 °C /min até alcançar a

temperatura desejada e após mantida na mesma por 30 min, os testes realizados ocorreram a 300, 400, 500, 600 e 700 °C. O vapor condensado ficou armazenado em um copo a baixa temperatura com gelo/água, já o não condensado foi coletado separadamente. O principal objetivo do experimento foi determinar a composição dos efluentes produzidos no reator da pirólise. A fase sólida, 75-80%, obtida após a pirólise, consistiu principalmente de fibra de vidro, metais e carbono. O líquido obtido durante o processo de pirólise, cerca de 9% em peso, era constituído de uma mistura de compostos orgânicos aromáticos e oxigenados (geralmente denominado óleos). A fase gasosa, 13% em peso, era composta principalmente de hidrocarbonetos leves C4-C1 e CO, CO₂, H₂ e O₂. Foi verificado que a fase gasosa poderia servir de gás para fins energéticos, uma vez que seu poder calorífico foi de aproximadamente 70 MJ/kg.

Lucze Sandor⁹⁹, autor da patente *Pyrolytic Apparatus and Method*, apresentou é um aparelho que possibilita a condensação do piro-óleo a partir do piro-gás. Pelo menos uma parte do gás, depois de passar através pela unidade de condensação, é recirculado para a área da unidade de pirólise do reator.

4.2.4.2 - Hidrometalurgia

O processo hidrometalúrgico consiste na separação de metais onde a etapa principal envolve reações de dissolução do material em soluções lixiviantes, ácidas ou alcalinas, seguida de etapas de separação como filtração, destilação e precipitação dos metais dissolvidos. Algumas das vantagens deste método, em relação à pirometalurgia, são a economia de energia e a menor poluição do meio ambiente^{7,100}.

Em 2007, A. H. Martins¹⁰¹ extraiu estanho e cobre das placas de circuito impresso através da lixiviação e recuperou as espécies através de precipitação por neutralização do licor de lixiviação. As PCI foram previamente desmontadas, fragmentadas em moinhos de cilindros e peneiradas. Obteve-se produto com granulometria inferior a 0,208mm. O material foi lixiviado com soluções aquosas 2,18N de H₂SO₄, 2,18N H₂SO₄+3,0N HCl, 3,0N HCl e 3,0N HCl+1,0N HNO₃ a uma temperatura de 60 °C com agitação intensa. O resíduo sólido das etapas de lixiviação foi recolhido por centrifugação, seco em estufa a 60 °C por 24 horas e pesado. Os precipitados ricos em Cu e Sn obtidos através da neutralização dos licores de lixiviação com NaOH foram recolhidos por centrifugação, secos em estufa, pesados e encaminhados para caracterização. A lixiviação com água régia, 3,0N HCl + 1,0N HNO₃, apresentou os melhores resultados de extração para Sn e Cu, respectivamente 98% e 93%,

enquanto que os piores resultados foram para o sistema 2,18N H₂SO₄ (Sn 2,7% e Cu <0,01%).

Sheng et al.¹⁰² separaram os chips da placa de circuito impresso (placa de fibra de vidro) com uma solução com uma parte de HNO₃ concentrado e duas partes de água, a 70 ° C por 1 h. Sob estas condições os metais-base (cobre, ferro, níquel, estanho, chumbo, alumínio e zinco) foram dissolvidos. Após a primeira lixiviação, os chips e a resina foram triturados mecanicamente e uma nova lixiviação, nas mesmas condições anteriores, solubilizou os metais-base remanescentes. Após, foi realizada a lixiviação dos resíduos da segunda fase com água régia (mistura com proporção 3:1 de HCl concentrado e HNO₃ concentrado), para dissolver o ouro metálico (Au⁰ oxidado a Au³⁺). A quantidade de solução necessária para a imersão de chips de computadores foi de aproximadamente 2 mL/g de chips de computador. O ouro foi precipitado com sulfato ferroso.

Semelhantemente ao trabalho de Sheng et al., em 2010, Barrientos et al.¹⁰³ propuseram a recuperação hidrometalúrgica de ouro e prata em sucata de jóias. Inicialmente as amostras foram lixiviadas com HNO₃ para extrair a prata e depois uma lixiviação com água régia solubilizou o ouro presente no material. Com a calcinação do AgCl, obtido pela adição de NaCl ao licor de HNO₃, foi extraído um teor de 94% de Ag, sendo que os principais contaminantes foram o Au e o Sn com teores de 2%, aproximadamente. A precipitação do ouro com FeSO₄ possibilitou a recuperação de 98,7% de Au, sendo que a prata foi a impureza de maior teor (0,72%). É salientada a importância de aplicação deste método quando o material apresenta teor de prata inferior a 10%, como é o caso das PCI, pois com altos teores pode ocorrer a formação de uma camada de AgCl sobre a sucata, dificultando a dissolução do ouro com a água régia.

A patente de Kogan Vladimir¹⁰⁴, Process for the Recovery of Precious Metals from Electronic Scrap by Means of Hydrometallurgical Technique, descreve um processo hidrometalúrgico para a extração de metais preciosos, provenientes de lixo eletrônico ou minerais. O material triturado reage com um ácido halogenado concentrado contendo um sal halogenado de magnésio.

3.2.4.3 - Eletrometalurgia

Eletrometalurgia é o processo de refino de metais através da eletrólise⁹⁷. O princípio envolve as reações de oxi-redução, não espontâneas, em que o metal presente em um material dissolve-se sob a forma de íons metálicos e é eletrodepositado no cátodo na forma pura^{105,106}.

Praticamente, todo o cobre obtido a partir do minério de cobre é refinado eletroliticamente. Dois processos eletrometalúrgicos podem ser seguidos o eletrorefino e a eletro-obtenção¹⁰⁷.

- Eletrorefino

O processo de eletrorefino é utilizado, normalmente, com metais fundidos obtidos por métodos pirometalúrgicos. O ânodo é constituído pelo metal fundido, ainda contendo certas impurezas (ânodo com 99,95% de Cu). Durante a eletrólise, o metal, sem a impureza do anodo, é eletrodepositado no cátodo^{16,108}.

Os metais remanescentes no ânodo (Ag, Au, Pt, Pb, Sn, etc.) podem se dissolver no eletrólito ou formar lodos que se acumulam no fundo da célula eletrolítica. O material é recolhido periodicamente e enviado para uma fábrica de derivados de Cu ou unidades de recuperação de metais^{108,109}.

- Eletro-obtenção

A eletro-obtenção, geralmente, consiste na eletrólise (com ânodo insolúvel, inerte) de uma solução aquosa de um sal de metal (sulfato, cloreto, etc), obtida por extração do solvente ou lixiviação do minério ou concentrado. A solução do íon metálico é submetida a uma corrente elétrica e ocorre eletrodeposição do metal no cátodo. Há uma tendência a utilizar o lixiviado, contendo metais dissolvidos, obtido do tratamento hidrometalúrgico. Na eletro-obtenção, metais como cobre, zinco, cádmio, alumínio, metais preciosos, entre outros, podem ser obtidos^{106,109}.

De acordo com Biswas et. al.¹⁰⁹, no processo de eletro-obtenção do cobre utiliza-se como anodo inerte uma liga de Pb-Sn-Ca e o eletrólito é uma solução aquosa contendo o íon metálico. Os produtos obtidos são: cobre puro no cátodo, gás oxigênio no ânodo e regeneração de ácido sulfúrico na solução. H.J.T Elingham¹⁰⁶, cita em seu trabalho que em uma planta de eletrorefino de cobre é possível obter cobre com 99,98% de pureza.

Um processo de reciclagem de placas de circuito impresso utilizando o processo de eletrorefino está descrito na patente dos inventores Dills James et. al.¹¹⁰, *System For Recycling Printed Circuit Boards*. Inicialmente as placas de circuito impresso passam pelo processo de pirólise e depois é feita uma “pasta” do resíduo metálico para compor o eletrodo. A pasta é composta pela combinação de metais pulverizados, pó de carbono e um líquido iônico.

3.2.4.4 - Biometalurgia

A biometalurgia utiliza as interações entre os micro-organismos e minerais para recuperar metais valiosos. Com base nos processos biológicos tem sido possível recuperar, por exemplo, cobre, ouro e cobalto. A principal aplicação da biometalurgia tem sido a biolixiviação de sulfetos metálicos. As principais vantagens da técnica são os baixos custos, quando comparados aos de uma fundição, e a simplicidade¹¹¹. Como desvantagem possível pode-se citar o tempo requerido para a ocorrência da biolixiviação e a necessidade do metal estar exposto para o possível ataque microbiano¹⁰⁰.

Brandl et al.¹¹² aplicaram processos microbiológicos para a lixiviação de metais a partir do lixo eletrônico. Bactérias (*Thiobacillus Thiooxidans* e *T. ferrooxidans*) e fungos (*Aspergillus niger*, *Penicillium simplicissimum*) foram cultivados na presença de sucata eletrônica. A adição de quantidades elevadas de resíduos eletrônicos leva a um aumento do pH inicial (devido alcalinidade dos resíduos). A fim de reduzir os efeitos tóxicos sobre os microrganismos, o processo foi dividido em duas etapas: (1) os organismos foram cultivados na ausência de sucata eletrônica e (2) a sucata eletrônica foi adicionada, em diferentes concentrações, aos micro-organismos formados para solubilização de metais. Em concentrações de sucata de 5 e 10 g/l, as bactérias lixiviaram mais de 90% de Al, Cu, Ni e Zn. As duas linhagens fungos mobilizaram 65% de Cu e Sn, e mais de 95% de Al, Ni, Pb e Zn.

4.2.4.5 - Processos Mecânicos

O processamento mecânico pode ser considerado um pré-tratamento, visando a separação prévia de metais, materiais poliméricos e cerâmicos. Consiste na combinação de um ou mais processos operacionais para o reaproveitamento do material descartado. Após esta etapa, os metais são encaminhados para processos metalúrgicos de refinação⁷. As técnicas que compõem o processo são: cominuição, classificação e separação^{100,113}.

Cominuição

A cominuição é uma técnica mecânica de redução do tamanho das partículas. A fragmentação ocorre com o objetivo de formar de partículas com tamanho e forma determinadas e a liberação de metais para futura concentração¹¹³. As técnicas utilizadas são impacto, atrito e compressão¹¹⁴.

O processo de fragmentação pode ser subdividido em britagem e moagem. Inicialmente, faz-se a britagem atingindo-se uma granulometria superior a 1 mm. Os

equipamentos utilizados são britadores giratórios ou de mandíbula. A moagem é utilizada quando se deseja uma granulometria inferior a 1 mm. No processo de moagem das PCI são utilizados, principalmente, moinhos de martelos (Shredder) e de facas. A cominuição é quase sempre dividida em várias etapas visando obter o tamanho de partícula desejado e assim, minimizando os custos, já que a operação envolve elevado consumo de energia^{115,116}.

Classificação

A etapa de classificação opera juntamente com o processo de fragmentação. As partículas de material, obtidos pelo processo de cominuição, devem ser separadas ou classificadas de acordo com o seu tamanho¹¹⁵. A classificação tem como principal objetivo o conhecimento da distribuição granulométrica das partículas. Os equipamentos utilizados para a classificação do material fragmentado podem ser^{115,116}:

Peneiras – peneiras vibratórias, rotativas e estáticas são utilizadas para a classificação de partículas mais grosseiras (acima de 1mm de diâmetro). Podem operar a seco e a úmido. As partículas com dimensões superiores à da abertura considerada tendem a ficar retidas na superfície e as com dimensões inferiores tendem a atravessar a mesma.

Classificadores Mecânicos – operam com tamanho de partículas menores que as peneiras (inferior a 1mm), mas são ineficientes para a separação de partículas muito finas (em média menores que 0,105 mm), por exemplo, classificadores espirais. Trabalham quase sempre a úmido.

Ciclones – operam com tamanhos de partículas inferiores a 1 mm, são muito eficientes para separarem partículas muito finas. Podem operar a seco ou a úmido.

Separação

Após as etapas de cominuição e de classificação granulométrica, o enriquecimento do material acontece por meio de técnicas de separação, separam-se as partes que interessam para o processo de refino do metal, descartando-se eventuais impurezas.

As operações de separação podem ser, por exemplo, separação gravimétrica, separação magnética e separação eletrostática¹¹³.

⇒ Separação Gravimétrica

A separação gravimétrica baseia-se na diferença de densidade, utilizando-se de um meio fluido, água ou ar, para realizar a separação. A técnica apresenta bons resultados com

baixo custo¹¹⁶. Os processos de separação por meio gravimétrico podem ser, por exemplo, por líquidos densos ou jigues.

A separação por líquidos densos é o processo mais simples e envolve o uso de líquidos com alta densidade relativa. O material a ser separado é adicionado ao líquido (por exemplo, líquidos orgânicos) com um valor de densidade intermediário ao dos dois componentes que se deseja separar. Os particulados leves (baixa densidade) tendem a flutuar na superfície e os componentes pesados (alta densidade) tendem a afundar^{100,117}.

A jigagem é um processo de concentração mais complexo, devido às suas variações hidrodinâmicas. Um fluxo de água é pulsado ou movido por meio de pistões para cima e para baixo, através do leito de material. Como resultado deste movimento oscilatório e da diferença de densidade, ocorre a estratificação do material^{116,117}.

⇒ Separação Magnética

Separação magnética baseia-se nos diferentes graus de atração exercidos por um campo magnético sobre os vários compostos metálicos¹¹⁷. Quando submetidos a um campo magnético, os metais podem ser divididos em 3 grupos: ferromagnéticos (forte atração), paramagnéticos (média e fraca atração) e diamagnéticos (nenhuma atração)¹¹⁶.

Com a técnica é possível separar uma fração magnética (por exemplo, ferro e níquel) e uma fração não magnética. A fração não magnética é encaminhada para um separador eletrostático¹⁰⁰.

⇒ Separação Eletrostática

No método de separação eletrostática a propriedade determinante é a condutividade elétrica, os materiais são classificados em condutores e não condutores de corrente elétrica¹¹³. Quando partículas de polaridade diferentes são colocadas em um campo elétrico, elas seguem trajetórias diferentes de movimento e podem ser capturadas separadamente¹¹⁷.

O funcionamento de um separador eletrostático que atua através da indução de condutividade (Figura 9) pode ser explicado considerando a colocação de partículas sólidas em um rotor na presença de campo elétrico. Uma carga induzida irá se desenvolver na superfície das partículas. As partículas condutoras irão assumir o potencial do rotor, oposto ao do eletrodo de descarga, e as forças eletrostáticas das partículas irão atraí-las para o eletrodo. As partículas não condutoras não adquirem a carga do rotor e, por conseguinte, não são atraídas pelo eletrodo, podendo ser separadas das condutoras¹⁰⁰.

No caso das placas de circuito impresso, a diferença de condutividade elétrica entre os metais e os não metais é condição fundamental para o bom resultado da técnica. É possível separar os materiais não condutores (polímeros e materiais cerâmicos), dos condutores (metais como Cu, Pb, Sn, entre outros).

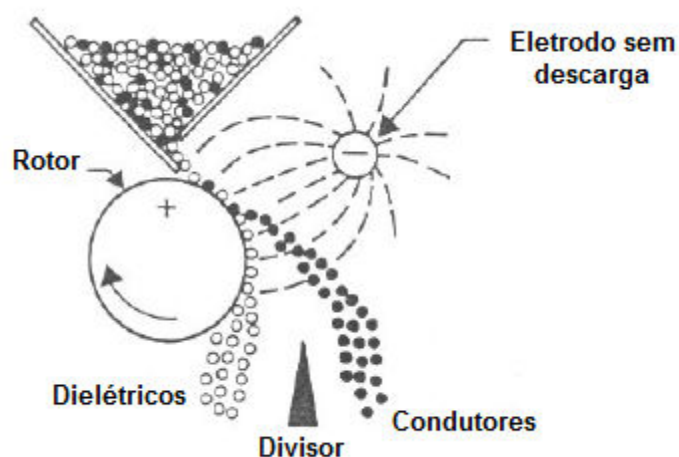


Figura 9: Funcionamento de um separador eletrostático¹⁰⁰.

Veit H. M.¹⁰⁰ estudou um processo de tratamento mecânico para placas de circuito impresso iniciando pela cominuição das placas, o material triturado em 3 diferentes faixas granulométricas ($F < 0,25\text{mm}$, $0,25 < F < 0,5\text{mm}$, $0,5 < F < 1,0\text{mm}$). Após realizou separação por diferença de densidade utilizando uma solução de tetrabromoetano (densidade de $2,96\text{g/cm}^3$) diluído com acetona na proporção 1:0,27. O objetivo da diluição foi reduzir a densidade para $2,5\text{g/cm}^3$ e baixar a viscosidade tornando o processo de separação mais rápido. Após 2 horas a separação estava completa, obtendo-se frações pesadas (ricas em metais) e frações leves (ricas em plásticos e cerâmicos) nas três diferentes granulometrias. As amostras foram analisadas quimicamente comprovando que os principais metais estavam concentrados nas frações pesadas. Com esta metodologia foi possível concentrar cerca 35% dos metais, presentes nas placas, somente com a cominuição e classificação granulométrica. Com a separação por densidade obteve-se na fração afundada uma concentração de mais de 80% de metais sendo que destes aproximadamente 65% era cobre. Realizando alguns cálculos, os pesquisadores concluíram que para cada 100 kg de PCI era possível obter 16,4 kg de metal, sendo que 8,3 kg eram cobre.

Veit H. M.^{16,118} estudou também uma outra rota mecânica para recuperação de cobre em placas de circuito impresso, Figura 10. Desta vez utilizou cominuição, classificação

granulométrica separação magnética, separação eletrostática e por fim, eletro-obtenção para recuperar cobre. As PCI sofreram cominuição em moinho de facas para obter tamanhos inferiores a 1 mm, seguido por uma separação granulométrica (mesmas frações anteriores). O material foi colocado em um separador magnético por via seca, com um campo magnético de 6000 a 6500 Gauss. Duas frações foram separadas, uma magnética contendo principalmente Fe e Ni e outra não magnética contendo os metais restantes, polímeros e materiais cerâmicos. A fração não magnética foi encaminhada para um separador eletrostático a fim de separar os materiais condutores dos não condutores, sendo os produtos obtidos analisados quimicamente por espectroscopia de absorção atômica para determinar a quantidade de metais presentes. A eletro-obtenção foi realizada com as duas soluções da fração de maior granulometria das PCI, uma dissolvida em ácido sulfúrico e outra em água-régia. A célula utilizada era composta por uma placa de cobre como cátodo e uma placa de platina como ânodo, onde foi aplicado um potencial de 400 mV. Neste Trabalho Veit concluiu que: (1) nas etapas iniciais (cominuição e classificação granulométrica) houve dificuldade de fragmentação das PCI e que os metais tendem a se concentrar nas frações mais grosseiras; (2) a fração magnética existente é muito pequena (de 9 kg de sucata tratadas somente 230 g foram separadas, porém com elevado teor de Fe, cerca de 42%); (3) as frações de PCI separadas eletrostaticamente apresentaram em média 50% de cobre, 25% de estanho e 7% de chumbo; (4) a eletro-obtenção possibilitou recuperar cobre, sendo o principal elemento depositado, com um rendimento superior a 97%.

Xu Z. et. al.¹¹⁹ também utilizaram o processo mecânico para reciclagem das PCI. Na etapa de cominuição foi utilizado, inicialmente, um britador e após o material foi encaminhado para um moinho de martelos. A separação granulométrica ocorreu com o uso de peneiras para obter granulometrias inferiores a 1,2 mm. O material foi encaminhado para um separador eletrostático objetivando obter uma fração com metais e outra com não metais. As amostras com tamanho entre 1,2 e 0,6 mm apresentaram melhor separação. Este estudo concluiu que cerca de 70% da composição das PCI são materiais não metálicos. Objetivando a correta disposição desta sucata não metálica, foram adicionados alguns aditivos ao material não metálico e em seguida, o mesmo foi prensado a quente. As placas compostas com aproximadamente 80% em peso de materiais não metálicos podem ser utilizadas como material para construção (telhas, divisórias, placas de isolamento, etc..).

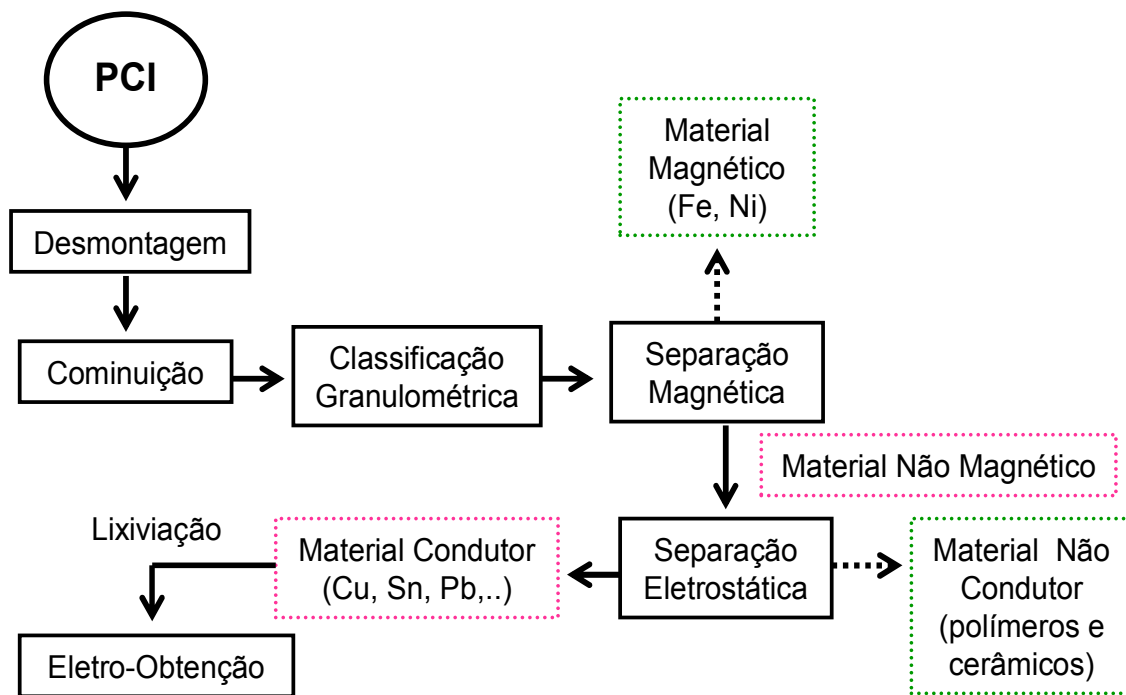


Figura 10: Processo mecânico de reciclagem de PCI utilizado por Veit H. M.¹⁶.

5 - Situação Atual do Lixo de Informática na Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Para contextualizar a UFRGS dentro do tema em estudo, o primeiro passo foi conhecer como o descarte deste material é feito na universidade.

Inicialmente, foi entrevistado o Diretor do Departamento de Patrimônio e Almoxarifado Central (DEPATRI), Sr. Jacir da Silva Mendonça em 25 de outubro. Este departamento está ligado à Pró-Reitoria de Planejamento e Administração e tem a finalidade do controle e registro patrimonial dos bens móveis da Universidade.

No dia 26 de outubro foi entrevistado Vice-Diretor do Instituto de Informática, Prof. Dr. Luis da Cunha Lamb e o chefe dos laboratórios do Instituto, Sr. Luis Otávio Soares. O Instituto de Informática da UFRGS destaca-se na educação, pesquisa e inovação em Ciência da Computação e Engenharia da Computação. No Instituto há muitos laboratórios de ensino com cerca de 500 computadores em rede.

No dia 29 de outubro foi entrevistado o Prof. Darci Campani, que dirige a Coordenadoria de Gestão Ambiental (CGA) da UFRGS. A CGA é o órgão da UFRGS responsável pela elaboração, pela implementação e pelo acompanhamento do Sistema de Gestão Ambiental da UFRGS. Está diretamente vinculada ao Gabinete do Reitor e tem por função gerenciar todos os programas e projetos em que se baseia o funcionamento do Sistema de Gestão Ambiental (SGA), além de acompanhar todos os processos no âmbito da Universidade que apresentem aspectos relacionados a questões ambientais.

5.1 - Lixo de Informática Produzido na UFRGS

Os computadores e monitores utilizados na universidade são classificados como bens móveis-material permanente e são adquiridos com recursos da União ou através de projetos financiados por órgãos como CNPq, FINEP, FAPERGS, CAPES e FAURGS. Sendo assim, a Universidade é responsável por estes bens, por serem de caráter público, e deve providenciar seu tombamento, ou seja, deve ser feito um processo pelo qual o bem é registrado legalmente no patrimônio da Instituição através de uma identificação (plaqueta) que é colocada no bem, personalizada e com numeração seqüencial. Cada unidade ou órgão da Universidade tem sua carga patrimonial própria, ou seja, o conjunto de bens móveis, equipamentos e material permanente sob sua responsabilidade. Quando um bem tombado (patrimoniado) é considerado ocioso ou inservível ele deve ser recolhido e encaminhado ao Departamento de Patrimônio

para baixa, processo pelo qual o bem deixa de existir oficialmente no patrimônio da Instituição.

Na UFRGS, quando um computador ou monitor estraga e não tem mais conserto ou quando algum departamento, laboratório e/ou professor compra um novo computador e descarta o antigo é solicitada a retirada do mesmo pelo agente patrimonial. O lixo de informática gerado desta forma é, então, direcionado para o depósito do DEPATRI.

Na UFRGS o lixo de informática acumulado no depósito do Departamento de Patrimônio, para descarte, entre 2008 e 2009 foi superior a 5.000 unidades, já o montante acumulado entre 2009 e 2010 foi de 4.243 unidades. Por outro lado no ano de 2009, aproximadamente, 5.500 unidades de computadores, notebooks e monitores entraram para a carga patrimonial da Universidade. Do início do ano até o mês de outubro de 2010 haviam entrado cerca de 3.000 unidades, Tabela 4. No período de 5-8 anos este material será descartado.

Tabela 4: Relação dos CPUs, monitores e notebooks adquiridos na UFRGS.

Período Unidades	01/01/09 – 31/12/09	01/01/10 – 20/10/10
CPU	2.621	1.339
Monitor	2.864	1.316
Notebook	102	301
Total	5.587	2.956

Desde outubro de 2008, a UFRGS cumpre as normas estabelecidas no Decreto nº 6.087, de 20 de abril de 2007, da Presidência da República, para o descarte do lixo de informática. O Decreto está no Anexo 1 do presente trabalho.

Parágrafo único. Os microcomputadores de mesa, monitores de vídeo, impressoras e demais equipamentos de informática, respectivo mobiliário, peças-partes ou componentes, classificados como ociosos ou recuperáveis, poderão ser doados a instituições filantrópicas, reconhecidas de utilidade pública pelo Governo Federal, e Organizações da Sociedade Civil de Interesse Público que participem de projeto integrante do Programa de Inclusão Digital do Governo Federal

Ao optar por adotar os procedimentos previstos no Decreto, a Universidade doa os computadores descartados para uma instituição credenciada junto ao Governo Federal, que irá utilizar o lixo de informática para a implementação de centros de inclusão digital.

Ao acumular uma quantidade considerável de computadores e periféricos, a UFRGS entra em contato com a Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação que indicará a organização que receberá o material a ser doado.

As duas doações realizadas pela Universidade desde 2008 foram para o projeto de inclusão digital do Centro Social Marista – CESMAR, Centro de Recondicionamento de Computadores – CRC. A primeira doação, realizada em 2009, foi superior a 5.000 unidades peças (CPU, monitor, mouse, teclado), a segunda, realizada em 2010, foi de 4.243 unidades.

A Universidade não realiza nenhum trabalho de triagem para averiguar as condições dos bens que serão doados, nem se estão em funcionamento ou não. Todo o tipo de análise e/ou teste é realizado pela instituição que recebe o material.

Atualmente está sendo estudada a implantação, na Universidade, de um Mural de Informações (nome ainda provisório). O projeto está sendo desenvolvido pelo Centro de Processamento de Dados (CPD) da UFRGS.

Consiste na divulgação de todos os bens (por exemplo, computadores e materiais de consumo como suprimentos, reagentes e papéis) ainda em condição de uso em um sistema on-line, interno da Universidade, onde seria possível trocar e/ou adquirir bens de outras unidades e/ou departamentos da UFRGS. Seria, basicamente, a possibilidade de uma transferência interna dos bens em desuso (qualquer tipo de item). A localização do bem ficaria disponível no sistema por um período (30/60 dias), depois, caso o mesmo permanecesse em desuso, ele seria encaminhado para o patrimônio ou para adequado descarte.

O projeto em questão já está quase sendo implementado, o que é vantajoso, visto que muitos computadores descartados ainda poderiam ser utilizados, minimizando a quantidade de lixo gerado. O Instituto de Informática, por exemplo, que necessita de computadores de última geração, descarta computadores que apresentam uma configuração adequada para serem utilizados em outra unidade ou órgão da Universidade.

5.2 - Funcionamento do Centro de Recondicionamento de Computadores

Em função da parceria entre a UFRGS e o Centro de Recondicionamento de Computadores (CRC-Cesmar) foi feita uma visita ao Centro no dia 16 de novembro para

conhecer o trabalho realizado. O CRC-Cesmar é um projeto da Rede Marista realizado em parceria com o Governo Federal, foi criado em 2006 e está sediado em Porto Alegre/RS.

O modelo pioneiro, criado e desenvolvido em Porto Alegre, tem servido de parâmetro para as demais unidades do programa do Governo Federal que estão sendo criadas em todo o Brasil. Atualmente existem CRCs em localidades como Belém, Belo Horizonte, Recife, São Paulo e Brasília.

O Centro recebe doações de parceiros como a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), a Polícia Civil, os Correios, a Pontifícia Universidade Católica (PUC), a Receita Federal, entre outros.

O Centro recicla computadores usados objetivando a sua reutilização, na promoção da formação e da inclusão digital através da capacitação técnica de jovens aprendizes. É um espaço, com instalações adequadas para a realização das atividades de recepção, triagem, acondicionamento, empacotamento e entrega de equipamentos de informática.

1) Processo de acondicionamento dos computadores e/ou periféricos

O material doado passa inicialmente por uma triagem visual, o que estiver quebrado ou for muito antigo (por exemplo, placas de circuito impresso que saíram de circulação desde 1990) é descartado e o material que estiver em boas condições é separado e encaminhado a uma sala específica. Os alunos realizam os testes nos materiais, realizam as trocas de peças e a manutenção necessária para deixar o item funcionando. Na medida em que vão ficando prontos os materiais de pequeno volume são armazenados separadamente em caixas como no caso de teclados, mouses, fios e entre outros. A Figura 11 mostra as caixas contendo o material pronto para uso, devidamente separado e catalogado. As CPUs e os monitores são armazenados em uma sala específica (maior). O armazenamento das CPUs está apresentado na Figura 12.



Figura 11: Material devidamente separado e catalogado.



Figura 12: Armazenamento das CPUs.

2) O material descartado

O material descartado por estar quebrado e/ou fora de funcionamento é encaminhado para reciclagem. A empresa recicladora tem que cumprir um programa de reciclagem ambientalmente correto. A empresa que coleta o material descartado pelo CRC-CESMAR é a Lorene. Há interesse do CRC-CESMAR em criar uma central de reciclagem dos descartes do lixo de informática e também de trabalhar com a consciência ambiental.

O Centro viabiliza, paralelamente ao recondicionamento de computadores, os projetos Jovem Aprendiz e Inclusão Digital.

✓ Projeto “Jovem Aprendiz”

O CRC através do projeto Jovem Aprendiz, capacita jovens entre 14 e 24 anos através de cursos na área de informática, como formação em hardware e software livre. Os participantes do programa recebem capacitação não apenas para uso de computadores, mas também para manutenção e/ou teste dos mesmos. Para participar do programa os jovens devem estar estudando, ao tornarem-se jovens aprendizes os mesmos recebem uma bolsa auxílio de $\frac{1}{2}$ salário mínimo para realização do curso. O Centro tem capacidade para 150 jovens aprendizes, porém atualmente conta com apenas 80 jovens. O único parceiro patrocinador do projeto Jovens Aprendizes no CRC-CESMAR é o Grupo Hospitalar Conceição.

Na Figura 13 é possível visualizar o galpão principal do CRC, onde são realizados os cursos de informática, testes e as manutenções necessárias nos equipamentos.



Figura 13: Galpão principal do CRC.

✓ Centros de Inclusão Digital

Além de recondicionar os computadores e trabalhar com a capacitação de jovens aprendizes o CRC monta o material necessário para a criação de telecentros pelo Brasil.

Uma comunidade que deseja ter um telecentro deve inscrever-se no Projeto de Inclusão Digital do Governo Federal. O CRC monta a estrutura computacional necessária para a formação do telecentro e envia para a local de destino. Cada telecentro contém, normalmente, 10 computadores completos e mais 1 que funciona como servidor.

No dia da visita ao CRC-CESMAR havia 840 computadores completos e 84 servidores prontos para envio, ou seja, 84 telecentros serão formados, em algum lugar do Brasil, nos próximos dias. Na Figura 14 é possível visualizar os kits de computadores que são enviados para a formação dos telecentros (cada palete constitui um telecentro).

No ano de 2008 o CRC entregou cerca de 2.500 computadores completos e no ano de 2009 o número foi de aproximadamente 3.000.



Figura 14: Computadores prontos para formação de telecentros.

6 - Proposta Tecnológica

Visto que na UFRGS já existe uma política para o descarte do lixo de informática, coleta e doação para instituição de caridade, e que, sendo um órgão público, a Universidade está restrita à legislação federal, passou-se a trabalhar na idéia de realizar tratamento do lixo de informática na própria UFRGS, utilizando o material não utilizado e/ou totalmente danificado separado pelo CRC-CESMAR (receptor do material doado pela UFRGS). As placas de circuito impresso seriam separadas e retornariam à Universidade para que a mesma realizasse o tratamento de recuperação de metais.

A UFRGS já possui experiência neste tipo de trabalho, desde o ano de 2001 estão sendo realizadas pesquisas sobre o refino das PCI podendo-se citar a dissertação de mestrado¹⁰⁰ e a tese de doutorado¹⁶ do prof. Dr. Hugo Marcelo Veit orientado pela prof^a. Dra. Andréa Moura Bernardes do Departamento de Engenharia de Materiais da UFRGS. Há, também, alunos da engenharia mecânica que reutilizam as placas de circuito impresso para a confecção de peças com outras utilidades, fazendo uso da arte e do design para transformar o lixo em algo útil.

Com o estudo da situação atual do lixo de informática na Universidade e considerando a idéia da recuperação dos metais presentes nas placas de circuito impresso foi elaborado um fluxograma do processo, Figura 15, composto das seguintes etapas: (1) surgimento de materiais de informática obsoletos em algum departamento/setor da Universidade; (2) a disponibilidade do material é divulgada *on-line*, no Mural de Informações; (3) realização de possíveis trocas entre os departamentos/setores ou o tempo de permanência do material no sistema irá expirar, caso não tenha sido encaminhado para outro setor; (4) depois de expirado o tempo de permanência do material de informática inservível é solicitado ao DEPATRI que recolha o mesmo; (5) o material é armazenado no depósito do DEPATRI; (6) doação para a organização credenciada ao programa de inclusão digital do governo federal; (7) o centro receptor realiza uma triagem; (8) o material em condições de uso é aproveitado no programa de inclusão digital; (9) o lixo de informática é separado em PCI (retornam a UFRGS) e os demais componentes (encaminhados a empresas recicladoras); (10) as placas de circuito impresso, que retornaram a Universidade, são encaminhadas para recuperação dos metais.

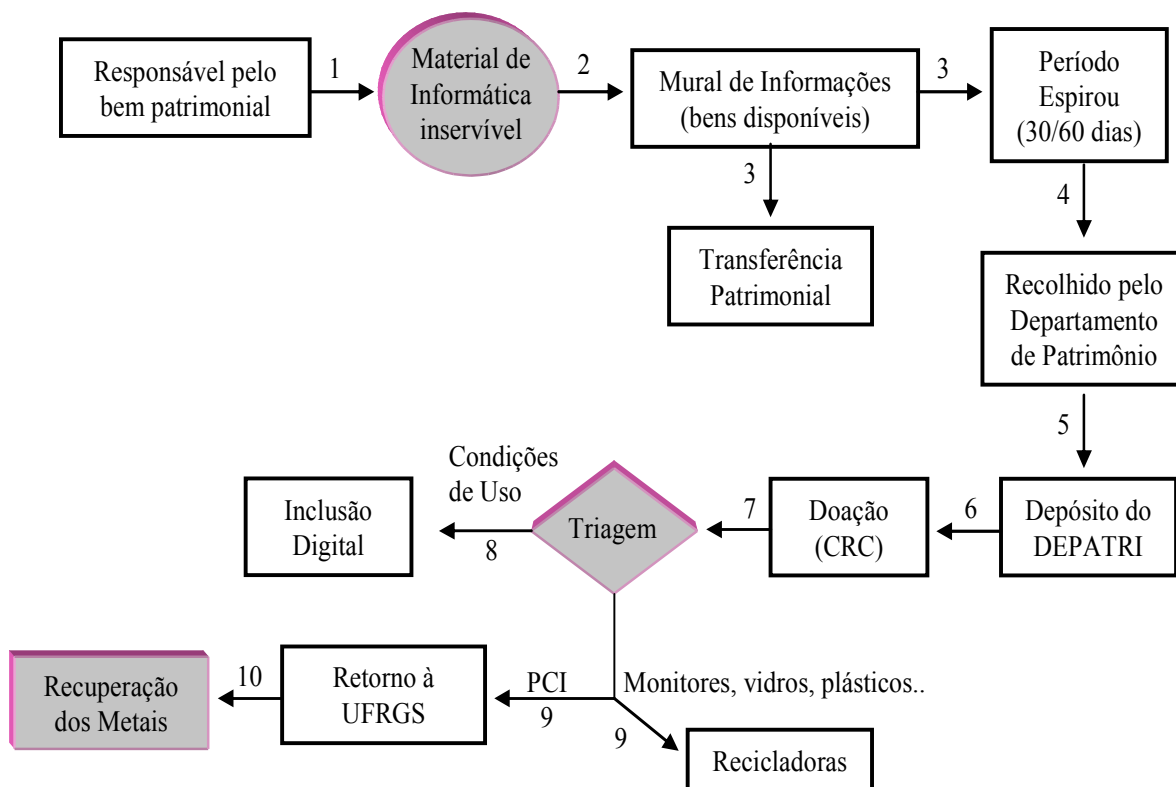


Figura 15: Fluxograma proposto para o processo de tratamento do lixo de informática produzido na UFRGS.

No fluxograma apresentado, as etapas de 1 a 8 já são efetuadas ou estão em implantação. A etapa 2, Mural de Informações, está em desenvolvimento e logo estará disponível para a comunidade da UFRGS. As etapas que a serem implementadas são as etapas 9 e 10, que serão discutidas abaixo.

Para a etapa 9, é necessário ter um espaço físico adequado para a armazenar as PCI vindas do centro de triagem até que haja um volume suficiente para iniciar o processo de recuperação dos metais.

Para a etapa 10 é preciso um laboratório exclusivo e com uma estrutura adequada para o acondicionamento e processamento do material que envolve métodos mecânicos e metalúrgicos, conforme descrito anteriormente. O custo para a construção deste tipo de infraestrutura é muito elevado, não condizendo com os orçamentos públicos, mas os recursos necessários podem ser obtidos através de parcerias público-privadas.

É necessária a contratação de recursos humanos com formação adequada para a execução das atividades e controle do processo. Um item importante a ser considerado tendo em vista as peculiaridades do processo de separação e purificação dos metais é a saúde dos

funcionários. A presença de metais pesados nas placas de circuito impresso é considerada um fator de risco para o funcionário. O uso de equipamentos de segurança, como EPIs, é essencial, todos os cuidados necessários para evitar acidentes e contaminações devem ser tomados com o máximo de rigor possível. Além disso, as pessoas que irão trabalhar junto à recuperação de metais das PCI necessitam de constante monitoramento físico e mental. Os cuidados com a saúde são importantes e imprescindíveis, visto que a contaminação causada por metais pesados é cumulativa ao organismo dos seres humanos e que, normalmente, os sintomas somente serão percebidos em longo prazo. Para a aplicabilidade destes tipos de cuidados é preciso investir em programas de proteção contra acidentes e em treinamentos para os colaboradores e ter condições de viabilizar um alto controle da saúde de todos os envolvidos no processo, com constantes consultas, exames e tratamentos médicos.

Além da complexa infra-estrutura necessária, a recuperação dos metais exige rigorosos monitoramentos ambientais. Os córregos de água próximos ao local e a água utilizada pela Universidade necessitariam de análises periódicas para a averiguação da não contaminação dos mesmos pelos metais pesados presentes nas placas, bem como o solo da região. As constantes análises seriam realizadas em laboratórios da própria Universidade.

Por último, é necessário verificar e determinar qual é a quantidade mínima de PCIs que devem ser tratadas de forma a cobrir os gastos investidos.

Uma estimativa aproximada do valor recuperado pela venda dos metais purificados pode ser feita considerando-se o número de PC descartados pela UFRGS que gira em torno de 2500 unidades por ano. Neste caso, supondo-se que há, pelo menos, uma PCI em cada computador e que cada uma pesa em média cerca de 200g, seriam obtidos 140 kg de metais (utilizando-se os dados da tabela 2), o que resultaria numa receita anual de aproximadamente R\$20.437,00. O detalhamento deste cálculo é mostrado na Figura 16.

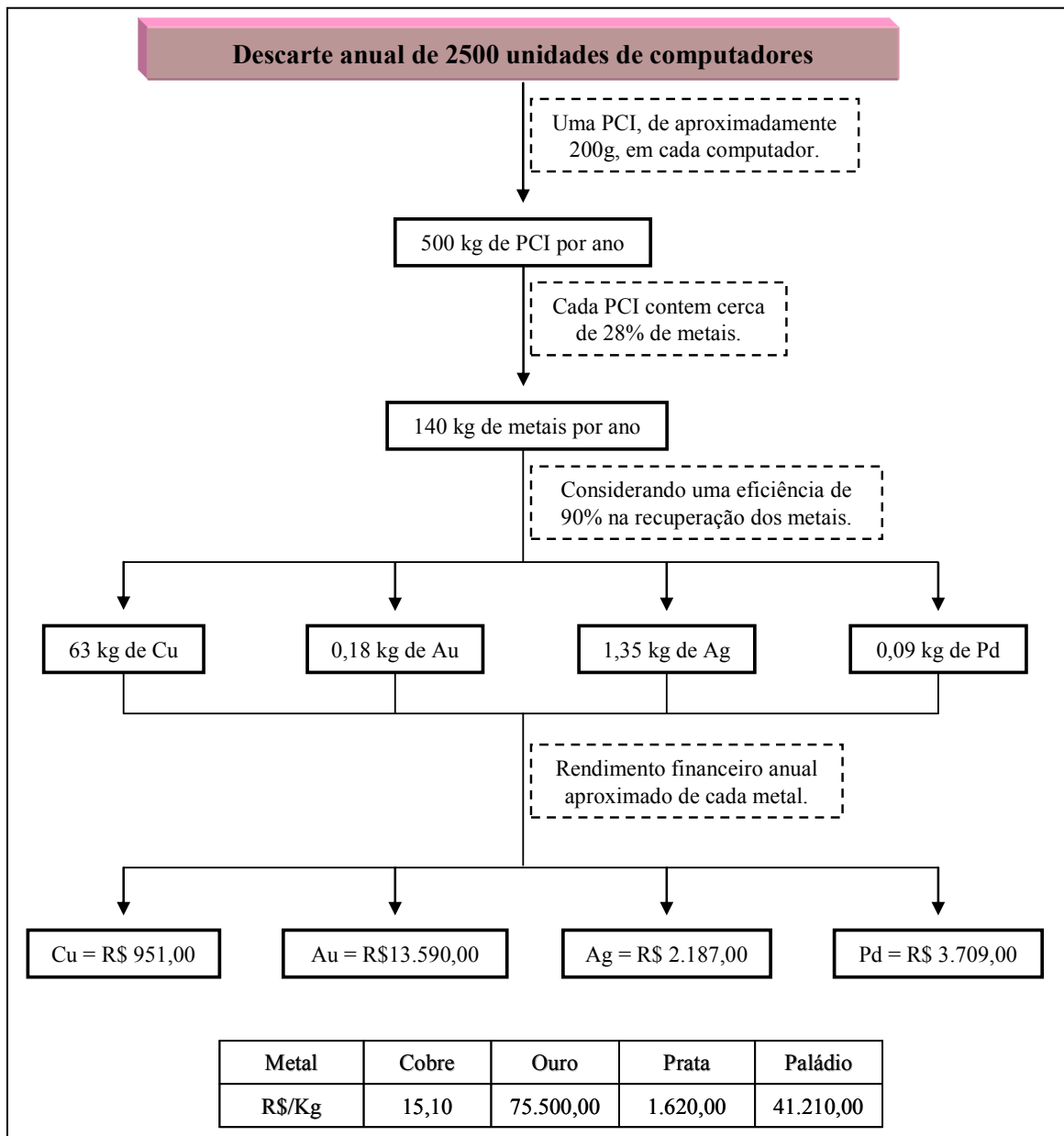


Figura 16: Cálculo da receita anual obtida com a recuperação dos metais presentes nas PCI.

7 – Conclusão

Os objetivos propostos no plano de trabalho foram plenamente atingidos e pode-se concluir que:

1) As legislações para descarte e tratamento de lixo eletrônico não são uma realidade de todos os países. As potencias emergentes não tem ou apresentam legislações fracas, já países da União Européia e os EUA têm legislações próprias para o descarte e tratamento do e-lixo. Não há nenhuma legislação nacional específica para tratamento de lixo eletrônico, somente o estado de São Paulo tem uma lei exclusiva. A lei brasileira que define a Política Nacional dos Resíduos Sólidos é muito recente, em alguns anos será possível observar os impactos da mesma na realidade de tratamento de lixo eletrônico no Brasil.

2) As diferenças na gestão do lixo eletrônico entre os países desenvolvidos e os emergentes são visíveis. Países da África, Ásia e América Central e do Sul não possuem estratégias e tecnologias para o recolhimento e tratamento do lixo eletrônico. No Brasil são poucas empresas especializadas na reciclagem de equipamentos eletrônicos e a completa reciclagem do lixo eletrônico ainda não ocorre no país, o refino dos metais não é feito no Brasil, as placas de circuito impresso são trituradas e exportadas para países como Canadá, Bélgica e Cingapura.

3) São diversos os processos e as tecnologias utilizadas no tratamento do lixo de informática, porém a parte mais complexa é a recuperação dos metais presentes nas placas de circuito impresso, envolvendo processos metalúrgicos gerando uma elevada demanda de energia.

4) No estudo da situação atual do lixo de informática na UFRGS percebeu-se que já existe uma preocupação com o descarte ambientalmente correto do material e que a Universidade cumpre as normas estabelecidas no Decreto nº 6.087, de 20 de abril de 2007 para a o descarte do lixo de informática.

5) Com os estudos realizados e com os conhecimentos adquiridos com a realização do trabalho determinou-se que a UFRGS não produz lixo de informática suficiente para a recuperação e refino de uma quantidade de metais suficiente para cobrir os custos.

6) Para uma empresa recicladora ter lucro com a recuperação e refino de metais oriundo das PCI seria necessário tratar grandes quantidades de PCI.

7) Uma alternativa mais viável seria realizar a concentração dos metais. Os processos mecânicos são mais baratos que os processos metalúrgicos, pois utilizam equipamentos mais simples e de mais fácil operação. Através do processamento mecânico pode-se obter um

concentrado de metais. Por exemplo, após as etapas de cominuição e classificação granulométrica das PCIs obtém-se uma fração de concentrado com cerca de 24% de cobre (o valor encontrado no minério varia de 1-3% de cobre). O concentrado de metais seria, então, vendido para uma metalúrgica para o devido refino.

8 - Bibliografia

- [1] <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=lixo-eletronico-outro-lado-era-tecnologia&id=010125091030>, acessado em 26/09/**2010**.
- [2] <http://lixoeletronico.org/blog/o-ciclo-do-lixo-eletr%C3%B4nico-vis%C3%A3o-geral>, acessado em 26/09/**2010**.
- [3] Study tallies environmental cost of computer boom, Newsletter of United Nations University, **2004**. http://update.unu.edu/archive/issue31_5.htm, acessado em 24/11/**2010**.
- [4] <http://computerworld.uol.com.br/gestao/2008/04/16/ti-verde-no-brasil-a-tendencia-chegou-ou-nao/>, acessado em 02/10/**2010**.
- [5] http://www.fiec.org.br/iel/bolsaderesiduos/Artigos/Artigo_Equi_Elet_elet.pdf, acessado em 26/09/**2010**.
- [6] CUI, J.; FORSSBERG, E.. Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. *Journal of Hazardous Materials*, B99, p 243–263, **2003**.
- [7] BERNARDES, I. P.. Reciclagem de Placas de Circuitos Eletrônicos. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Monte da Caparica **2009**.
- [8] Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos. Dossiê Temático REEE – Nível Mais Básico, Associação Portuguesa do Ambiente.
- [9] <http://www.computertakeback.org/index.htm>, acessado em 27/09/**2010**.
- [10] <http://library.thinkquest.org/06aug/02218/index.htm>, acessado em 27/09/**2010**.
- [11] <http://www.lixoeletronico.org/blog/composi%C3%A7%C3%A3o-do-lixo-eletr%C3%B4nico>, acessado em 14/10/**2010**.
- [12] Wilkinson, S.; Duffy, N.; Crowe, M.. Waste From Electrical And Electronic Equipment In Ireland: A Status Report. EPA Topic Report, **2001**.
- [13] http://www.coinfo.cefetpb.edu.br/professor/ilton/apostilas/discip_yahoo/iltonbarbacena/alarme/manual/curso/intro.htm, acessado em 03/10/**2010**.
- [14] <http://www.videoinformatica.com.br/materia/drivers-como-instalar-apos-formatar-computador.aspx>, acessado em 03/10/**2010**.
- [15] Veit, H. M.. Geração e Destino dos Resíduos Eletro-Eletrônicos. VII Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, **2010**.
- [16] Veit, H. M.. Reciclagem de Cobre de Sucatas de Placas de Circuito Impresso. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. UFRGS, **2005**.

- [17] <http://www.ativareciclagem.com.br/monitores.htm>, acessado em 21/10/**2010**
- [18] <http://www.crtrecycling.com.au/>, acessado em 03/10/**2010**.
- [19] N. Menad - Cathode ray tube recycling - Resources, Conservation and Recycling 26, p 143–154, **1999**.
- [20] <http://www.apple.com/br/hotnews/agreenerapple/>, acessado em 03/10/**2010**.
- [21] <http://diodos-leds.blogspot.com/2009/03/led.html>, acessado em 03/10/**2010**.
- [22] Schluep, M.; Hagelueken, C.; Kuehr, R.; Magalini, F.; Maurer, C.; Meskers, C.; Mueller, E.; Wang, F.. Sustainable Innovation and Technology Transfer Industrial Sector Studies. Recycling from E-Waste to Resources. United Nations Environment Programme & United Nations University, **2009**.
- [23] Facts and Figures on E-Waste and Recycling. Electronics TakeBack Coalition, **2010**.
- [24] <http://www.gazelle.com/>, acessado em 04/10/**2010**
- [25] <http://tecnologia.uol.com.br/ultimas-noticias/redacao/2010/02/22/reciclagem-de-lixo-eletronico-na-usp-aproveita-ate-ultimo-parafuso-de-pcs-antigos.jhtm>, acessado em 04/10/**2010**
- [26] Robinson B. H. E-waste: An assessment of global production and environmental impacts. Science of the Total Environment, 408, p 183–191, **2009**.
- [27] <http://noticias.uol.com.br/ultnot/agencia/2009/07/26/ult4469u44142.jhtm>, acessado em 04/10/**2010**.
- [28] Environment Alert Bulletin - E-waste, the hidden side of IT equipment's manufacturing and use. UNEP, **2005**.
- [29] Puckett, J.; Byster, L.; Westervelt, S.; Gutierrez, R.; Davis, S.; Hussain, A.; Dutta, M.. Toxics Link India Exporting Harm - The High-Tech Trashing of Ásia, **2002**.
- [30] http://www.educacional.com.br/noticiacomentada/020503_not01.asp, acessado em 04/10/**2010**.
- [31] http://www.indexmundi.com/pt/estados_unidos/populacao.html, acessado 05/10/**2010**.
- [32] Panorama Econômico e Desempenho Setorial – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), **2010**.
- [33] Economia verde: desenvolvimento, meio ambiente e qualidade de vida no estado de São Paulo. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, **2010**.
- [34] http://www.ibge.gov.br/series_estatisticas/exibedados.php?idnivel=BR&idserie=POP300, acessado em 19/11/**2010**.
- [35] <http://www.basel.int/index.html>, acessado 05/10/**2010**.
- [36] Agência Portuguesa do Ambiente – Convenção da Basiléia, **2009**.

- [37] http://ec.europa.eu/environment/index_en.htm, acessado 05/10/2010.
- [38] Goosey, M.. End-of-life electronics legislation – An industry perspective. *Circuit World*, 30/2, p 41–45, **2004**.
- [39] Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos. Dossiê Temático REEE – Guia de Recursos, Associação Portuguesa do Ambiente.
- [40] Guide on the Scope of Germany's Electrical and Electronic Equipment Act (ElektroG), **2005**.
- [41] Kirschner, M.. RoHS/WEEE Regulations and Standards - RoHS in China. *Conformity, Annual guide*, **2007**.
- [42] Electric Appliance Recycling in Japan. *INFORM*, **2003**.
- [43] <http://www.calrecycle.ca.gov/>, acessado 05/10/2010.
- [44] Garcés, D.; Silva, U.; Finquelievich, S.; Protomastro, G. F.; Vega, V. R.; Loayza, O. E.; Pérez, P. C.; Mori, C. K.; Hirmas, M. E.; Finlay, A.; Gestión de residuos electrónicos en América Latina. Plataforma Regional de Residuos Electrónicos en América Latina y el Caribe SUR/IDRC, **2009**.
- [45] Presidência da República. Decreto nº 875, de 19 de julho de **1993**.
- [46] Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução CONAMA nº 23, de 12 de dezembro de **1996**.
- [47] Presidência da República. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de **2010**.
- [48] Governo do Estado de Pernambuco. Decreto Estadual nº 23.941, de 11 de janeiro de **2002**.
- [49] Governo do Estado de Santa Catarina. Lei nº 13.557, de 17 de novembro de **2005**.
- [50] *Jornal da Assembléia Legislativa do Estado de Santa Catarina*. Ano 10, nº 282, de 15/02/2008 .
- [51] Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Decreto Estadual nº 45.554, de 19 de março de **2008**.
- [52] Assembléia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro. Projeto de Lei nº 1937/2004.
- [53] Governo do Estado de São Paulo. Lei nº 13.576, de 6 de julho de **2009**.
- [54] <http://erprecycling.prodigentia.net/>, acessado 10/10/2010.
- [55] Assessment and proposals for the Revision of the WEEE Directive based on the European Recycling Platform's 4 years of operations. *European Recycling Platform*, **2009**.
- [56] <http://www.ewasa.org/index.html>, acessado 10/10/2010.
- [57] An Assessment of E-waste Takeback in India. *Greenpeace*, **2008**.

- [58] Bo, B.; Yamamoto, K.. Characteristics of E-waste Recycling Systems in Japan and China. World Academy of Science, Engineering and Technology 62, **2010**.
- [59] <http://www.ban.org/index.html>, acessado 10/10/**2010**.
- [60] <http://e-stewards.org/>, acessado 10/10/**2010**.
- [61] <http://www.ecycle.org/index.htm>, acessado 10/10/**2010**.
- [62] <http://www.cempre.org.br/eletroeletronicos/>, acessado 11/10/**2010**.
- [63] <http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=ascom.noticiaMMA&codigo=5770>, acessado 20/10/**2010**.
- [64] <http://www.cdi.org.br/>, acessado 11/10/**2010**.
- [65] <http://rede.metareciclagem.org/>, acessado 11/10/**2010**.
- [66] <http://socialmarista.org.br/inclusao-digital>, acessado 11/10/**2010**.
- [67] <http://www.museudocomputador.com.br/>, acessado 11/10/**2010**.
- [68] www.dell.com.br, acessado 11/10/**2010**.
- [69] <http://www.itaotec.com.br/pt-br/sustentabilidade>, acessado 12/10/**2010**.
- [70] <http://www.e-lixo.org>, acessado 11/10/**2010**.
- [71] <http://www.cce.usp.br/?q=node/266>, acessado 11/10/**2010**.
- [72] <http://www.ecopress.org.br/noticias+com+baixa+repercussao/no+garimpo+urbano+sucata+de+informatica+vira+mina+de+ouro>, acessado 12/10/**2010**.
- [73] <http://www.unicore.com.br/>, acessado 12/10/**2010**.
- [74] <http://www.cimelia.com.br/>, acessado 12/10/**2010**.
- [75] <http://www.izn.com.br/recicle/>, acessado 12/10/**2010**.
- [76] <http://www.lorene.com.br/>, acessado 12/10/**2010**.
- [77] <http://www.oxil.com.br/>, acessado 12/10/**2010**.
- [78] <http://www.peacock.com.br/>, acessado 12/10/**2010**.
- [79] <http://www.suzaquim.com.br/>, acessado 12/10/**2010**.
- [80] <http://www.tcrecycling.com/>, acessado 12/10/**2010**.
- [81] Kang, H.; Schoenung, J. M.. Electronic waste recycling: A review of U.S. infrastructure and technology options. Resources, Conservation and Recycling 45, p 368–400, **2005**.
- [82] Informativo trimestral do Centro de Computação Eletrônica da Universidade de São Paulo, nº3, out/nov/dez, **2009**.
- [83] Jason, R.; Doherty, F. J.. Disposal of electrical waste. GB2398298 (A), **2004**.
- [84] The monitor of electronics recycling issues - CRT Glass to CRT Glass Recycling. Materials for the Future Foundation, **2001**.

- [85] <http://www.eletronica.com/reciclagem-de-tubos-de-tv-atraves-de-laser/>, acessado 16/10/2010.
- [86] <http://www.e-waste.ch/>, acessado 16/10/2010.
- [87] <http://www.terra.com.br/revistaplaneta/edicoes/433/artigo104995-1.htm>, acessado 16/10/2010.
- [88] <http://www.dacartobenvic.com.br/static/wma/pdf/1/2/0/5/9/O%20que%20%C3%A9%20PVC%20.pdf>, acessado 16/10/2010.
- [89] <http://jorgeroriz.wordpress.com/o-perigo-da-dioxina-para-sua-saude/>, acessado 16/10/2010.
- [90] <http://emc5707.barra.prof.ufsc.br/Microsoft%20PowerPoint%20-%20ABS.pdf>, acessado 16/10/2010.
- [91] Kipper, L. M.. Ações Estratégicas Sistêmicas Para a Rede Sustentável de Reciclagem de Plásticos. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. UFSC, 2005.
- [92] http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/reciclagem/reciclagem_de_plastico.html, acessado 16/10/2010.
- [93] Schwantes, D.. Reciclagem Química de PET Proveniente de Filtros Industriais Pós-Consumo. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais. UFSCAR, 2006.
- [94] Spinacé, M. A. S.; Paoli, M. A.. A Tecnologia da Reciclagem de Polímeros. *Quim. Nova*, Vol 28, Nº 1, p 65-72, 2005.
- [95] Kopper, E.. Processo de Recuperação de Termoplástico Reciclado. PI9501056-4, 1997.
- [96] <http://www.worldlingo.com/ma/enwiki/en/Pyrometallurgy>, acessado 17/10/2010.
- [97] White, D. P.. Química, A Ciência Central. 9ª Edição. Capítulo 23, Metais e metalurgia. Pearson Education, 2005.
- [98] Jie, G.; Shun, L. Y.; Xi, L. M.. Product characterization of waste printed circuit board by pyrolysis. *Anal. Appl. Pyrolysis* 83, p 185–189, 2008.
- [99] Lucze, S.. Pyrolytic Apparatus and Method. WO2009130524 (A1), 2009.
- [100] Veit, H. M.. Emprego do Processamento Mecânico na Reciclagem de Sucatas de Placas de Circuito impresso. Dissertação de Mestrado . Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. UFRGS, 2001.
- [101] Martins, A. H.. Recuperação de estanho e cobre a partir da reciclagem de placas de circuito eletrônico de microcomputadores sucitados. *Estudos tecnológicos*, vol. 3, nº 2, p 124-131, 2007.

- [102] Sheng, P. P.; Etsell, T. H. Recovery of gold from computer circuit board scrap using aqua regia. *Waste Manage Res* 25, p 380–383, **2007**.
- [103] Barrientos, C. E.; Martins, A. H.. Reciclagem de sucata de jóias para a recuperação hidrometalúrgica de ouro e prata. *Metalurgia e Materiais. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*, 63(2), p 315-323, **2010**.
- [104] Kogan, V.. Process for the Recovery of Precious Metals from Electronic Scrap by Means of Hydrometallurgical Technique. WO2006013568 (A2), **2006**.
- [105] Schweickardt, A. R.. Utilização de um Eletrodo Poroso Perclorado Pulsado para a Recuperação de Prata em Banhos Fotográficos. Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade de Brasília, **2006**.
- [106] Ellingham, H.J.T.; Moore, S.. Electrochemistry and electrometallurgy. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, p 185 – 192, **2010**.
- [107] http://www.ufpa.br/getsolda/docs_graduacao/Aula_Tecnologia_Metalurgica01.pdf, acessado 24/10/**2010**.
- [108] <http://mech2006.vtk.be/downloads/mech2005/2e/materiaalkunde/5-b%20copper.pdf>, acessado 24/10/**2010**
- [109] Biswas, A. K.; Davenport, W. G.; King, M.; Schlesinger, M.. Extractive Metallurgy of Copper. 4th ed, **2002**.
- [110] Dills, J. C. ; Halling, D. B.; Wilkes, J. S.; Trott, S.. System For Recycling Printed Circuit Boards. US20090288956,**2009**.
- [111] Morin, D.; Lips, A.; Pinches, T.; Huisman, J.; Frias, C.; Norberg, A.; Forssberg, E.. BioMinE – Integrated project for the development of biotechnology for metal-bearing materials in Europe. *Hydrometallurgy* 83, p 69–76, **2006**.
- [112] Brandl, H.; Bosshard, R.; Wegmann, M.. Computer-munching microbes: metal leaching from electronic scrap by bacteria and fungi. *Hydrometallurgy* 59, p 319–326, **2001**.
- [113] http://www.abceram.org.br/asp/49cbc/pdf/49cbc_senaipr_1.pdf, acessado 29/10/**2010**.
- [114] Yovanovic, A. P.. Engenharia da Cominuição e Moagem em Moinhos Tubulares - Cap. 1 - Sistema Fenomenológico da Cominuição. Modelo Operacional Otimização e Controle de Processos Minerais, **2006**.
- [115] <http://www.mib.eng.br/arquivos/pdf/capitulodois.pdf>, acessado 29/10/**2010**.
- [116] Beneficiamento de Minérios. PORMIN - Portal de Apoio ao Pequeno Produtor Mineral. Ministério de Minas e Energia.
- [117] <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/383742/mineral-processing/81313/Gravity-separation>, acessado 29/10/**2010**.

[118] Veit, H. M.; Bernardes, A. M.; Bertuol, D. A.; Oliveira, C. T..Utilização de processos mecânicos e eletroquímicos para reciclagem de cobre de sucatas eletrônicas. *Metals e metalurgia. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*, 61(2), p 159-164, **2008**.

[119] Li, J.; Lu, H.; Guo, J.; Xu, Z.; Zhou, Y.. *Recycle Technology for Recovering Resources and Products from Waste Printed Circuit Boards. Environ. Sci. Technol.*, p 41, **2007**.

ANEXO 1

Presidência da República
Casa Civil
Subchefia para Assuntos Jurídicos

DECRETO Nº 6.087, DE 20 DE ABRIL DE 2007.

Altera os arts. 5º, 15 e 21 do Decreto nº 99.658, de 30 de outubro de 1990, que regulamenta, no âmbito da Administração Pública Federal, o reaproveitamento, a movimentação, a alienação e outras formas de desfazimento de material, e dá outras providências.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA, no uso da atribuição que lhe confere o art. 84, inciso IV, da Constituição, e tendo em vista o disposto no Decreto-Lei nº 200, de 25 de fevereiro de 1967, e na Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993,

DECRETA:

Art. 1º Os arts. 5º, 15 e 21 do Decreto nº 99.658, de 30 de outubro de 1990, passam a vigorar com a seguinte redação:

“Art. 5º Os órgãos e entidades da Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional informarão, mediante ofício ou meio eletrônico desde que certificado digitalmente por autoridade certificadora, credenciada no âmbito da Infra-Estrutura de Chaves Públicas Brasileira - ICP - BRASIL, à Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão a existência de microcomputadores de mesa, monitores de vídeo, impressoras e demais equipamentos de informática, respectivo mobiliário, peças-partes ou componentes, classificados como ocioso, recuperável, antieconômico ou irrecuperável, disponíveis para reaproveitamento.

§ 1º As entidades indicadas no art. 22, quando optarem pela doação desses bens, poderão adotar os mesmos procedimentos previstos no **caput**.

§ 2º A Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação indicará a instituição receptora dos bens, em consonância com o Programa de Inclusão Digital do Governo Federal.

§ 3º Não ocorrendo manifestação por parte da Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação no prazo de trinta dias, o órgão ou entidade que houver prestado a informação a que se refere o **caput** poderá proceder ao desfazimento dos materiais.”
(NR)

“Art. 15. A doação, presentes razões de interesse social, poderá ser efetuada pelos órgãos integrantes da Administração Pública Federal direta, pelas autarquias e fundações, após a avaliação de sua oportunidade e conveniência, relativamente à escolha de outra forma de alienação, podendo ocorrer, em favor dos órgãos e entidades a seguir indicados, quando se tratar de material:

I - ocioso ou recuperável, para outro órgão ou entidade da Administração Pública Federal direta, autárquica ou fundacional ou para outro órgão integrante de qualquer dos demais Poderes da União;

II - antieconômico, para Estados e Municípios mais carentes, Distrito Federal, empresas públicas, sociedade de economia mista, instituições filantrópicas, reconhecidas de utilidade pública pelo Governo Federal, e Organizações da Sociedade Civil de Interesse Público;

III - irrecuperável, para instituições filantrópicas, reconhecidas de utilidade pública pelo Governo Federal, e as Organizações da Sociedade Civil de Interesse Público;

IV - adquirido com recursos de convênio celebrado com Estado, Território, Distrito Federal ou Município e que, a critério do Ministro de Estado, do dirigente da autarquia ou fundação, seja necessário à continuação de programa governamental, após a extinção do convênio, para a respectiva entidade conveniente;

V - destinado à execução descentralizada de programa federal, aos órgãos e entidades da Administração direta e indireta da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios e aos consórcios intermunicipais, para exclusiva utilização pelo órgão ou entidade executora do programa, hipótese em que se poderá fazer o tombamento do bem diretamente no patrimônio do donatário, quando se tratar de material permanente, lavrando-se, em todos os casos, registro no processo administrativo competente.

Parágrafo único. Os microcomputadores de mesa, monitores de vídeo, impressoras e demais equipamentos de informática, respectivo mobiliário, peças-parte ou componentes, classificados como ociosos ou recuperáveis, poderão ser doados a instituições filantrópicas, reconhecidas de utilidade pública pelo Governo Federal, e Organizações da Sociedade Civil de Interesse Público que participem de projeto integrante do Programa de Inclusão Digital do Governo Federal.” (NR)

“Art. 21. O Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, no exercício das suas competências definidas no inciso XVII do art. 27 da Lei nº 10.683, de 28 de maio de

2003, poderá expedir instruções que se fizerem necessárias à aplicação deste Decreto.”
(NR)

Art. 2º Este Decreto entra em vigor na data da sua publicação.

Art. 3º Ficam revogados os Decretos nºs 4.245, de 22 de maio de 2002, 4.507, de 11 de dezembro de 2002, e o art. 6º do Decreto nº 99.658, de 30 de outubro de 1990.

Brasília, 20 de abril de 2007; 186º da Independência e 119º da República.

LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA
Paulo Bernardo Silva