

INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS PARA GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS

Adriana Marize Zeni (UTFPR) adrianazeni@ig.com.br
Prof. Dr. João Luiz Kovaleski (UTFPR) Kovaleski@utfpr.edu.br
Prof. Dr. Ivanir Luiz de Oliveira (UTFPR) ivanir@pesquisador.cnpq.br
Marcelo Mazurek (UEPG) marcelomazurek@yahoo.com.br

Resumo:

Mudanças rápidas na tecnologia e o aumento da demanda resultam em um crescimento contínuo na produção e uma redução significativa no ciclo de vida dos produtos tecnológicos, equipamentos em perfeito estado de funcionamento passam a ser considerados obsoletos, sendo descartados de maneira incorreta no meio ambiente, neste momento passam a ser identificados como Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE). O REEE tem algumas características únicas que requerem uma gestão especial, por ter um valor funcional e material. Um dos componentes principais dos produtos eletroeletrônicos é placa de circuito impresso sendo um componente básico, é amplamente utilizado em toda a indústria eletrônica. A presente pesquisa visa levantar informações acerca dos resíduos tecnológicos, em especial as placas de circuito impresso e através de pesquisas bibliográficas adquirir informações sobre os tipos e formas de reciclagem e inovações tecnológicas no que se refere à gestão de resíduos de REEE.

Palavras chave: resíduos, inovação, sustentabilidade

INNOVATIONS FOR SUSTAINABLE MANAGEMENT OF ELECTRONIC WASTE

Abstract

Rapid changes in technology and increased demand result in a continued growth in production and a significant reduction in the life cycle of technology products, equipment in good working order are now considered obsolete and is disposed of improperly in the environment at this time become identified as Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). The WEEE has some unique characteristics that require special management by having a functional value and material. One of the main components of electronic products is the printed circuit board is a key component, is widely used throughout the electronics industry. This research aims to gather information about the technological waste, especially printed circuit boards and through literature searches to acquire information about the types and forms of recycling and technological innovations in relation to waste management of WEEE.

Key-words: : waste, innovation, sustainability

1. Introdução

Com a evolução dos meios de comunicação e tecnologias, a humanidade chegou num nível em que para obter informações em tempo real basta um toque no mouse, o que sem sombra de

dúvida facilita a vida de todos. E isso fez com que houvesse um consumo cada vez maior de produtos eletrônicos. Os lançamentos são mundiais e há todos instantes novos computadores sendo oferecidos no mercado. No Brasil, há mais de 15 anos tem crescido o uso de dispositivos eletrônicos portáteis, como notebooks, celulares, impressoras e computadores. Segundo a pesquisa Nacional por amostra (PNAD) do IBGE realizada no ano de 2009, mostrou que 18 milhões de residências tinham computador, um crescimento de 21% em relação a 2007. Em cada quatro casas uma está conectada na internet. Cerca de 13,7 milhões de domicílios estão ligados à rede mundial de computadores

A produção em larga escala de computadores para atender a demanda crescente, juntamente com as políticas de apoio para promover a inclusão digital, tornou os equipamentos mais baratos e acessíveis a todas as camadas da população. Além dos custos de fabricação dos produtos eletrônicos terem diminuído, alguns consumidores trocam seus computadores ou celulares simplesmente para ter um produto com tecnologia atualizada, ou ainda, comprar um computador novo é mais viável e atrativo financeiramente do que consertá-lo.

A expansão do uso de produtos eletroeletrônicos em todos os setores aumenta a quantidade do lixo tecnológico. Lixo tecnológico ou eletroeletrônico é o nome dado aos resíduos da rápida obsolescência de equipamentos eletrônicos, que incluem computadores e eletrodomésticos, entre outros dispositivos. (GUERIN, 2008, p.1) Estes equipamentos são um conjunto complexo de materiais e componentes, muito dos quais altamente tóxicos. Os impactos na saúde da misturas e combinação de material nos produtos muitas vezes não são conhecidos. A produção de semicondutores, placa de circuito impresso, unidades de disco e monitores utiliza químicos particularmente perigosos.

Com a redução significativa no ciclo de vida dos produtos tecnológicos, equipamentos em perfeito estado de funcionamento passam a ser considerados obsoletos, sendo descartados de maneira incorreta no meio ambiente, neste momento passam a ser identificados como Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE). Visto que, as principais preocupações estão voltadas para as repercussões que podem ter sobre a saúde humana e ao meio ambiente, o objetivo deste estudo é levantar informações sobre a as formas de reciclagem e pesquisas relacionadas com as inovações tecnológicas aplicadas a Gestão de Resíduos, com ênfase nas placas de circuito impresso.

2. Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos

A quantidade de resíduos tecnológicos vem crescendo a cada dia, tornando necessária a coleta e reciclagem dos produtos através da implementação de gestão de resíduos. Para diminuir os efeitos causados ao meio ambiente os países tentam através de campanhas, programas, convenções, e leis conscientizar as empresas e a população da necessidade de preservar o meio ambiente. No Brasil, são descartadas quase 96,8 mil toneladas de resíduos de computadores, sendo considerado o país que mais produz resíduos tecnológicos entre os emergentes (PNUMA, 2010).

O Projeto de Lei nº203/1991, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que em termos gerais, estabelece a “responsabilidade compartilhada” entre governo, indústria, comércio e consumidor final no gerenciamento dos resíduos sólidos, incluídos os perigosos (dentre eles, os eletroeletrônicos) e instituiu a “logística reversa”, que obriga fabricantes e fornecedores destes resíduos, a coletarem e darem o destino adequado a seus produtos, uma vez descartado pelos consumidores (PATELLA, 2010). Seguindo esta linha de pensamento a logística reversa consiste em agregar valor a um bem após o fim de sua útil, reintegrando novamente ao ciclo de produção.

Com as novas legislações em vigor, o descarte correto dos produtos eletroeletrônicos não será mais uma opção, descartar os produtos de forma ambientalmente segura será uma regra. No

Brasil a Lei Federal 12.305, de 02/08/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, classifica os resíduos quanto a origem e quanto à periculosidade (artigo 13, incisos I e II), Segundo esta Lei, o REEE pode ser classificado como resíduos não perigosos provenientes de estabelecimentos. Segundo o CONAMA, considera-se lixo tecnológico todo aquele gerado a partir de aparelhos eletrodomésticos ou eletroeletrônicos e seus componentes, incluindo os acumuladores de energia (pilhas e baterias), lâmpadas fluorescentes e produtos magnetizados, de uso doméstico, industrial, comercial e de serviços, que estejam em desuso e sujeitos à disposição final.

Uma vez que o problema de gerenciamento de resíduos eletrônico surgiu apenas há relativamente pouco tempo, a investigação sobre o tópico específico ainda está em sua fase inicial. No entanto estratégias de gestão de resíduos, em geral, estão em desenvolvimento constante e muitas teorias existem para corrigir alguns problemas como os custos sociais, criado por materiais descartados. Resíduo eletrônico é, portanto um equipamento eletroeletrônico que chegou ao fim de vida e deixou de ter de qualquer valor para seu proprietário. Além disso, o rápido progresso tecnológico resultou não apenas em uma infinidade de novos serviços e produtos, mas também reduziu sua expectativa de vida, tornando os produtos obsoletos mais rapidamente.

Para Lindhqvist (2000), os resíduos podem ser considerados como uma matéria-prima que pode e deve ser recuperado, ou seja, um recurso que pode ser reutilizado. Embora diferentes em sua composição, eletrônicos e produtos elétricos contêm metais valiosos como ouro e prata, além de centenas de outros materiais. As principais preocupações ambientais relacionadas com a gestão de resíduos eletrônicos, são a liberação descontrolada de substâncias perigosas para o ambiente e o uso inadequado de materiais recicláveis. O descarte incorreto pode ser extremamente perigoso para o meio ambiente.

O REEE tem algumas características únicas, como valor funcional e valor material, dessa forma demandam uma gestão especial. Existem várias razões que torna um produto eletrônico em resíduo, primeiramente é devida a sua obsolescência técnica, recurso econômico ou estético, que facilitam a compra de um produto novo, ou alto custo de reparo.

O impacto negativo dos REEE no ambiente, sociedade e economia são uma consequência da negligência do princípio da prevenção de resíduos durante as fases anteriores de inovação na indústria eletrônica. Para evitar problemas futuros de disposição deve ser tomado o princípio da prevenção de resíduos na concepção do produto caso contrário, existe um risco de que o desenvolvimento tecnológico mais tarde revele-se insustentável.

Conforme Widmer e outros (2005) e Sinha-Khetriwal, Kraeuchi e Widmer (2007), o sistema de gestão deve responder aos seguintes questionamentos: quem financiará o sistema? Quanto se deve pagar? Para o que pagará? Qual o instrumento de cobrança? Como garantir que o sistema será financeiramente estável para custear a despesas do seu funcionamento?

A principal preocupação com produtos que estão no final de sua vida útil é reduzir o impacto ambiental. O conceito do fim de gestão de vida começou em paralelo com a análise de ciclo de vida e os efeitos práticos podem ser considerados uma parte dela. O fabricante do equipamento original tem responsabilidade por todas as etapas do processo. Dessa maneira, o produto é coletado levado para uma eliminação adequada, podendo ser reciclado, reutilizado ou remanufaturado.

O objetivo da gestão de resíduos é encontrar estratégias viáveis e sustentáveis de recuperação desses resíduos, destacando as questões de desenvolvimento que devem ser apoiada por pesquisas futuras. Diante disso, é indispensável fomentar um processo de produção eco eficiente, desenvolver produtos eletroeletrônicos ecologicamente compatíveis, incentivar o

consumo consciente desses equipamentos, bem como implantar uma adequada gestão dos resíduos gerados após a utilização, com vistas na prevenção dos resíduos e dos seus possíveis impactos ambientais. Desse modo, a gestão dos resíduos tecnológicos no Brasil deve estar pautada nos princípios sustentáveis, que tem como base um sistema de produção e o consumo racional de bens e serviços, abrangendo os aspectos econômico, social e ambiental.

Mesquita Júnior (2007), sustenta que para compor o sistema de gestão integrada, alguns elementos importantes devem ser considerados como reconhecer os agentes sociais envolvidos, um modelo de gestão integrada de resíduos sólidos, que pode ser estendido para os REEE, é entendido como “um conjunto de referências político, estratégicas, institucionais, legais, financeiras, sociais e ambientais capaz de orientar a organização do setor”.

A implementação de uma gestão participativa não é tão simples, no que se refere gestão dos resíduos de REEES é preciso considerar a produção, consumo e pós-consumo desses equipamentos, analisando todas as etapas do ciclo de vida dos produtos, entender todo o processo de fabricação e identificar os aspectos que originam os resíduos e emissões na fase de produção, consumo e pós-consumo. Portanto, deve-se realizar a Análise do Ciclo de Vida (ACV) do produto, com o intuito de desenvolver um projeto ambiental, eco design, que reduza o consumo de matérias-primas, conceba produtos mais duráveis, menos tóxicos, com maior potencial de reuso e reciclagem.

Conforme a Diretiva 2002/96/CE, de 27 de janeiro de 2003, que institui critérios de gestão para os Estados-Membros da Comunidade Européia, equipamentos eletroeletrônicos são formados a partir de um conjunto complexo de materiais, muito das quais altamente tóxicos. Os impactos na saúde da misturas e combinação de material nos produtos muitas vezes não são conhecidos. Normas mundiais procuram regulamentar o processo de fabricação de eletroeletrônicos, dentre elas, as mais difundidas são:

- a) WEEE - Waste Eletrínical and Eletronic Equipaments (Resíduos de Equipamentos Elétricos e eletrônicos) e
- b) ROHS 2008 - Restriction of Hazardous Substances (Restrição ao uso de substâncias perigosas. Entre as substâncias encontram-se Cádmio, Cromo, Chumbo, Mercúrio).

De acordo com as exigências da Diretiva ROHS de 1 de Julho de 2006, todos os elementos e componentes de equipamentos eletroeletrônicos devem ser produzidos em conformidade com rigorosos padrões ambientais e cumprir com essas especificações visa proibir o uso de substâncias perigosas como o chumbo, mercúrio, cádmio, cromo, hexavalente.

Os principais motivos que levam as empresas a desenvolver um sistema de Gestão de Resíduos Eletrônicos podem ser resumidos em três categorias:

- a) Os benefícios econômicos
- b) Pressões legislativas
- c) Melhoria da imagem da empresa

A produção de placa de circuito impresso, unidades de disco e monitores utiliza componentes químicos particularmente perigosos. Dessa maneira, exigem uma gestão cuidadosa em todas as fases do processo. A gestão inicia no desenvolvimento do produto, coleta e o tratamento adequado para a eliminação deste resíduo.

3. Reciclagem

A reciclagem é amplamente considerada como benéfica para o ambiente, embora a coleta, triagem e processamento de materiais em novos produtos também acarretam impactos ambientais significativos.

As fases da Reciclagem

Coleta – a coleta adequada dos resíduos tecnológicos é pré-requisito para uma gestão adequada. A composição varia conforme a fonte geradora.

Desmontagem – os REEE podem ser separados e desmontados para serem encaminhados para revenda, reciclagem, manutenção, entre outros.

Reutilização e Recuperação – reutilização e recuperação dos componentes ou equipamentos são práticas que aumentam a vida útil, minimizando a geração de resíduos. A reutilização, a remontagem e reparação dos componentes são mais valiosas do que usar os metais preciosos como matérias-primas secundárias. Os REEEE obsoletos devem ser reparados sempre que essa possibilidade existir, até que fiquem totalmente inutilizados.

Eliminação – os equipamentos e seus componentes que não podem ser reaproveitados devem ser encaminhados para aterros apropriados, de maneira que não sejam agentes de poluição do meio ambiente.

Os componentes dos resíduos que podem ser de valor devem ser separados e processados para permitir a extração de matérias-primas, que depois de recuperadas tem alguma forma de reutilização, bem como um valor comercial. Todo equipamento ao fim de sua vida útil pode ter diversos destinos, desde ser reaproveitado até ser encaminhado para aterramento (JOFRE; MORIOKA), 2005. É necessário esclarecer que o custo da reciclagem ainda é bastante dispendioso. Ainda assim, a reutilização e reciclagem são práticas bastante perseguidas nos países desenvolvidos .

Varias abordagens tem sido propostas incluindo proibição de aterro, responsabilidade alargada do produtor, e a taxa de recuperação para o financiamento de reciclagem, essas medidas são impostas para que os atores envolvidos possam estabelecer um sistema de reciclagem ideal para a sua localização, através das medidas é possível avaliar o desempenho dos sistemas existentes, e alem disso é possível usar essas informações para projetar novos sistemas. Para Rodrigues (2007), a logística reversa, juntamente com a Política de responsabilidade alargada do produtor, constitui um dos principais meios de recuperação dos REEE.

Estes eletrônicos tendem a conter quantidades substanciais de metais preciosos como ouro, prata e platina. A concentração de ouro em uma placa de circuito impresso pode ser 40 a 800 vezes maior que a encontrada em minério de ouro natural. (BLEIWAS, 2001). Portanto a mineração de resíduos de metais pode ser mais eficiente do que a mineração da terra. Há muitos processos diferentes para a reciclagem de placas de circuito impresso e muito mais a ser proposto, mas a falta de incentivos para práticas inovadoras apropriadas e investimentos em tecnologias, dificultam esta etapa fundamental para a gestão de resíduos.

Segundo Kuehr & Williams (2003), pesquisas revelaram que para um em cada dez computadores, revender ou reformá-los reduz o total de energia usado em 8,6% e 5,2% respectivamente, reduzindo a demanda por máquinas novas. Em contraste, reciclar os materiais de um em cada dez computadores economiza apenas 0,43% pela substituição da matéria-prima virgem. Isto acontece, pois a maioria da energia usada durante o ciclo de vida do produto é usada em seus componentes complexos (como chip) e, não, nas demais substâncias, como alumínio e plástico. Por este motivo, a revenda ou reforma é mais favorável ao meio ambiente do que a reciclagem.

A reciclagem sustentável é discutida para ser fortemente dependente da concepção do produto que retarda a perda de qualidade de produtos e materiais, onde são considerados os escassos recursos não renováveis, avaliados os resíduos que serão originados da fabricação desses

produtos, o descarte ao fim de vida útil, e a utilização de componentes que permitem a reciclagem de cerca de 100% dos materiais. Os processos de reciclagem devem ter como objetivo a conservação de qualidade em cascata. Finalmente, as tecnologias devem ser empregadas, visando impedir a acumulação de contaminantes em produtos.

Segundo Carvalho (2009), cada vez mais as empresas estão enxergando na reciclagem um importante recurso para maximizar os lucros e colaborar com a sociedade onde estão inseridas. Porém, no Brasil são poucas empresas especializadas na reciclagem de equipamentos eletrônicos e a completa reciclagem de REEE ainda não ocorre no país, o refino dos metais não é feito e as placas de circuito impresso são trituradas e exportadas para países como Canadá, Bélgica e Cingapura.

4. Inovações e Sustentabilidade

Para competir em uma economia globalizada tecnologias e conceitos focados para os fluxos de recursos disponíveis é um pré-requisito para o crescimento sustentável. Neste contexto as inovações são um fator chave de desenvolvimento e promovem profundas mudanças em toda sociedade. No entanto, a inovação deve ser julgada por suas contribuições que levam o progresso social e ao sucesso econômico. Sendo assim uma inovação pode ter êxito se a interação entre a evolução tecnológica e as necessidades dos consumidores for bem sucedida.

No que se refere aos produtos eletroeletrônicos a demanda global por matéria-prima tem aumentado nos últimos anos, e tende a se tornar mais escassa e cara, dessa maneira uma cadeia de suprimentos eficiente e equilibrada torna-se necessária para garantir o fornecimento de matéria-prima de maneira sustentável. O desenvolvimento de estratégias para substituição de recursos escassos, conceitos de produção inovadores, introdução de novos materiais, investimento em tecnologia de reciclagem tornam-se fundamentais. O grande potencial para aumentar a eficiência na economia reside na combinação de serviços inovadores, com tecnologias eficazes.

O desafio é aumentar a conscientização entre todos os atores dos diferentes setores a fim de realizar mudanças para chamada eco-inovação considerando o consumo sustentável e os padrões de produção. No âmbito do problema do REEE o foco recai sobre um conjunto consistente de diferentes tipos de metais (metais ferrosos e não ferrosos) como o alumínio, cobre, paládio e ouro entre outros elementos tóxicos e perigosos que estão presentes na composição dos produtos. Logo, na discussão de tecnologias de reciclagem, o tratamento adequado de tais elementos nocivos para impedir o dano ambiental ou impacto sobre a saúde deve estar incluso. Além disso, o uso e a geração de substâncias tóxicas perigosas durante a reciclagem de REES especificamente na fase processamento, precisam ser avaliados criticamente com relação aos critérios de sustentabilidade. A análise da fase inicial dos processos de concepção de produtos, podem fornecer informações valiosas, pois, neste contexto de incertezas sobre os diferentes níveis e tipos de elementos fazer escolhas tecnológicas que irão ser economicamente e ecologicamente sustentável garantem o sucesso e a sustentabilidade do consumo de recursos.

5. Composição da Placa de Circuito Impresso

Hoje, quase todos os aparelhos eletrônicos contêm uma placa de circuito impresso, telefones celulares, computadores, impressoras, televisores, aparelhos de som, eletrodoméstico, relógios digitais entre outros. A PCI é um componente básico, largamente utilizado em toda a indústria eletrônica, sendo constituída por uma placa onde são impressas ou depositadas trilhas de cobre. Enquanto a placa se comporta como um isolante (dielétrico), as trilhas têm a função de conectar eletricamente os diversos componentes e as funções que representam. Mais recentemente, implantou-se uma nova tecnologia para a produção de placas cada vez menores

e de grande integração: as micro vias, que apresentam em geral seis camadas ou mais e visam atender majoritariamente aos segmentos de notebooks e terminais de telefonia celular são elementos fundamentais, presentes em todo e qualquer bem.

O processo de produção de uma PCI e os processos de limpeza/lavagem, necessários entre as diversas etapas da produção, geram resíduos que devem sofrer algum tipo de tratamento antes da disposição final. A composição da PCI variam de acordo com a idade e com o tipo de placa. Para Menetti et al (1996), em linhas gerais as PCI's são compostas de Materiais cerâmicos, vidros e óxidos. Por este motivo surge necessidade de serem adotadas políticas de redução/minimização deste tipo resíduos dentro desses processos, e ainda as técnicas utilizadas devem ser revisadas.

Formas diferentes de sistemas de reciclagem de REEE já existem em todo mundo, visto que a quantidade de legislação relacionada com a gestão de resíduos tende a aumentar. Placas de circuito impresso contem uma variedade de metais. Alguns metais encontrados em PCI são, ferro, cobre entre outros. A força motriz para reciclagem de sucata eletrônica é a recuperação de metais preciosos. Os metais preciosos obtidos justificam o uso de sofisticados processos metalúrgicos para recuperar parte desses metais. Há três cenários principais no que se refere ao refino de metal. O cenário de cobre, chumbo e estanho, o cenário de reciclagem de cobre é o mais popular, pois as receitas geradas com o cobre são maiores que a de chumbo e estanho, se os aspectos ambientais são tomados em consideração, o cenário de cobre é inferior ao chumbo e estanho. A composição da placa de placa de circuito impresso pode ser verificado no quadro 1.

Quadro 1 Composição Típica de Uma Placa de Circuito Impresso

Materiais	(%) Peso
Ouro	0,035
Cobre	22
Chumbo (Solda)	2,6
Estanho (Solda)	1,5
Fibra de Vidro	30
Resina Epóxi	15
Outros (Fe, Ni, Si etc)	29

Fonte: Lee et al (2004)

Atualmente pequena quantidade de placas de circuito impresso passa por um processo de reciclagem. Elas são tipicamente colocadas em fundições de cobre, o que oferece o risco de se liberar fumaças tóxicas danosas ao meio-ambiente. A maioria das placas é incinerada e algumas são depositadas em aterros, o que libera poluentes tóxicos, como metais pesados.

5.1 Tipos de Reciclagem de Placa de Circuito Impresso

A tecnologia utilizada para a reciclagem de sucatas eletrônicas inclui processos mecânicos, químicos e térmicos, que estão descritos abaixo:

Hidrometalurgia: O sistema hidrometalúrgico consiste na separação de metais onde a etapa mais importante envolve reações de dissolução do material em soluções ácidas ou alcalinas. Uma vantagem alcançada através deste processo são a economia de energia e a menor poluição do meio ambiente.

Pirometalurgia: Este sistema utiliza altas temperaturas podendo gerar metais puros, ligas ou compostos intermediário. A pirometalurgia requer um excessivo consumo de energia para atingir as temperaturas necessárias para cada etapa processo.

Eletrometalurgia: É uma forma de refino de metais por meio da eletrólise. Baseado nas reações de oxi-redução, não espontâneas em que o metal dissolve-se sob a forma de íons metálicos e é eletro depositado no cátodo na forma pura.

Biometalurgia: A biometalurgia é um processo em que são utilizadas as interações entre os micro-organismos e minerais para recuperar metais. Neste sistema é possível recuperar cobre, ouro entre outros.

Processo Mecânico: Este método pode ser compreendido como uma espécie de pré-tratamento, visando à separação de metais, materiais poliméricos e cerâmicos. Após este estágio os metais são encaminhados para processos metalúrgicos. Para uma empresa recicladora ter lucro com a recuperação e refino de metais oriundo das PCI seria necessária tratar grandes quantidades de PCI.

5.2 Processamentos Mecânico para Reciclagem PCI

Conforme Veit (2001), em sua pesquisa sobre processos mecânicos para reciclagem, avaliaram-se a possibilidade de se separar os metais dos demais componentes das placas (polímeros, cerâmicas, etc.), através de processamento mecânico, evitando assim a queima do material e a conseqüente geração de dioxinas. A análise química do material demonstrou que há uma alta concentração de metais nas placas, Os metais encontrados foram cobre, estanho, chumbo e alumínio. Outra parte do estudo foi à separação dos metais por diferença de densidade as placas de circuito impresso contendo todos os componentes continham contaminantes como capacitores e após foram moídas. Diferentes quantidades foram separadas, analisadas quimicamente e, finalmente, iniciou-se a separação por diferença de densidade.

Usando o método mecânico e separação por diferença de densidade, é possível separar os metais dos demais materiais das placas de circuito impresso, sendo esse um importante passo para uma reciclagem total desse resíduo.

Segundo Veit (2001), idealizador da pesquisa objetivo pretendido com a pesquisa foi alcançado, já que o método desenvolvido é eficaz tanto técnica quanto economicamente para reciclar metais de placas de circuito impresso.

Em 2007, Martins, apresentou um trabalho experimental com o objetivo de recuperar cobre e estanho partir de PCI, em seu estudo as placas passaram por uma combinação de técnicas mecânica e hidrometalúrgica. Os resultados obtidos foram 98% de estanho e 93% de Cobre. Segundo o autor para a realização de seu experimento, foram necessárias pesquisas tomando por base dados de artigos científicos, livros e revistas, como também tecnologias existentes para tratamento para PCI

5.3 Modelo Econômico para Gestão de Fim de Vida de Placa de Circuito Impresso

Conforme Rao (2004), este artigo descreve as atividades envolvidas na gestão de placas de circuito impresso e seu processo de reciclagem. .

O modelo Econômico é dividido em duas partes o modelo de custo e o modelo energético. Ambos os modelos são utilizados em conjunto para avaliar alternativas diferentes em um processo ou fazer uma comparação entre dois processos. O modelo de energia é calculado para identificar a energia consumida em cada estágio. Os vários tipos de energia gastos em cada etapa são calculados usando fórmulas matemáticas. O modelo matemático tem como

objetivo definir a relação entre o custo total e os custos de processos de reciclagem de resíduos.

As variáveis consideradas são as seguintes.

1. O peso é considerado como uma variável independente,
2. Custo de logística e a distância percorrida a partir do ponto de origem para o ponto destino.
3. Tempo de desmontagem,
4. Tempo de teste,
5. Tempo de processamento,
6. Variável custo de logística reversa é obtido através da distância do mercado até a planta de reciclagem.
7. O peso dos resíduos gerado, eliminação.

O propósito deste modelo é de repartir os custos para as saídas obtidas após reciclagem com precisão e também dar uma imagem clara do consumo de energia utilizada pelo processo de reciclagem.

Este modelo pode auxiliar empresas de reciclagem PCI para aperfeiçoar processos e suas estratégias proporcionando uma imagem precisa do custo e consumo de energia. O aspecto econômico é realmente importante, como resultado da crescente oferta de produtos eletrônicos em fim de vida. O principal problema a ser considerado é se este processo de recuperação é conveniente em que medida.

5.4 Triagem Automática para Separação de Resíduos

Pesquisadores do Fraunhofer-Gesellschaft desenvolveram um sistema de triagem automática. O objetivo do projeto é para fechar as lacunas existentes no ciclo do produto com processos de reciclagem inovadores, o que permitirá que recursos já presentes nos Estados Unidos possam ser recuperados e reutilizados na indústria. O processo desenvolvido vai se recuperar materiais de alta qualidade de valor igual a matérias primas utilizadas na concepção dos equipamentos. A pesquisa visa desenvolver técnicas para fluxos de resíduos de vidro, madeira, materiais compósitos, escórias e gases quentes, e até o final do projeto desenvolvido os processos também devem ser aplicáveis aos fluxos de outros materiais.

"Essas tecnologias têm um grande potencial de aplicação", explica o líder do projeto, Dr. Jörg Woidasky. As estimativas de rentabilidade para estas tecnologias estão previstas para o ano de 2020. Assim, a recuperação e reciclagem de materiais pela separação de processos até o nível molecular, possibilitarão uma eficiência econômica e sustentável para a indústria que é a parte interessada na pesquisa. A única maneira de resolver esta situação é através de uma gestão mais eficiente e separação de materiais que permitam a reciclagem, para isso o uso de tecnologias de classificação é fundamental.

5.5 Máquina de Raio-X para Classificação de Resíduos

Com tecnologia de raios X de classificação, é possível separar substâncias com base em sua densidade atômica. A tecnologia consiste em um sensor e uma câmera com maior resolução e sensibilidade a cor. Ele registra muitas propriedades do material ao mesmo tempo. A imagem digital original é coletada, então a informação é processada. Isso permite que diferentes materiais sejam detectados com precisão. A unidade de iluminação utiliza tecnologia do tipo LED tecnologia que fornece resultados de classificação altamente confiável. Especificamente nos casos da placa de circuito impresso. Este equipamento através da sua tecnologia de detecção altamente sensível consegue isolar os metais, plásticos e cabos e materiais compósitos. Em seguida os metais passam por um processo especial de reciclagem, em

seguida um sensor fornece informações para a classificação de materiais por cor, forma, brilho, tamanho, e condutividade.

Esta inovação abre novas fronteiras no processamento eficiente de recuperar materiais valiosos. As sucatas de ferro, resíduos orgânicos e outros fluxos de entrada podem ser classificados usando essa tecnologia de classificação de raios-X, e as eventuais frações de metais pesados gerados por raios-X de classificação pode ainda ser separadas por cores diferentes para alcançar resultados ainda melhores

O conteúdo médio de materiais recuperados é o seguinte: metais (50 %), plástico (30%), vidro (10 %) e outros materiais (10 %). Este equipamento foi desenvolvido na Noruega e está disponível para venda, a empresa é reconhecida internacionalmente por suas pesquisas inovadoras no setor de reciclagem.

6. Considerações Finais

A Gestão de resíduos desempenha um papel significativo na definição de uma estratégia ambiental sustentável. O tema da gestão de resíduos de eletroeletrônicos vem sendo tratada de diferentes pontos de vista, como o econômico, tecnológico e o ambiental, dessa maneira a maior dificuldades estão na interação de todos os atores envolvidos no processo. Algumas empresas que são as principais geradoras desde tipo de material iniciaram um sistema de logística reversa, e adotaram medidas de coleta e reciclagem de seus produtos, está atitude tem suas explicações nas leis impostas nacional e internacionalmente.

A complexidade das questões necessita de interesse e soluções integradas em que todas as partes envolvidas consigam trabalhar juntos e propor projetos economicamente viáveis. Atualmente os esforços são mais um fator de visibilidade e de marketing e não tem uma finalidade ambiental genuína. O Brasil não dispõe de tecnologia para reciclar placas de componentes eletrônicos, e as placas de circuito impressa são exportadas para vários países. As técnicas existentes muitas vezes não são adequados para aplicações em pequena escala.

O estudo sobre as formas de reciclagem permitiu verificar, que grande parte das técnicas são benéficas para o meio ambiente, e em alguns tipos de reciclagem são economicamente viáveis. Contudo o processo de reciclagem que utilizam algum tipo de tecnologia tem retorno mais rápido, mas o custo de aquisição de modernas tecnologias é muito caro, o que dificulta novamente a reciclagem em países em desenvolvimento. Outro problema a ser considerado é o ciclo de vida dos produtos, muito curto, e alguns casos os produtos são descartáveis. Em relação PCI a tendência a miniaturização e os avanços de produtos eletrônicos vão manter a fabricação de PCI e um campo dinâmico por muitos anos, por este motivo, vários métodos de reciclagem estão sendo utilizados na tentativa de minimizar os problemas ambientais, econômicos e sociais.

7. Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13896/1997 –Aterros de resíduos não perigosos – critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

BLEIWAS, D. Obsolete Computers, “Gold Mine,” or High-Tech Trash? Resource Recovery from Recycling. Denver, CO, U.S. Geological Survey

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010. Disponível em<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 02 de jun. de 2010.

CARVALHO, C. Reciclagem Primária de ABS: Propriedades Mecânicas, Térmicas e Reológicas. Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de SantaCatarina-UDESC, Centro de Ciências Tecnológicas, Joinville, SC, 2009

COMPUTADORES OBSOLETOS "Mina de Ouro", ou High-Tech Trash? Acesso em jul 2011

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama>> Acesso em: jul. 2011

FRAUNHOFER- Institute for Chemical tecnológicos disponível em <http://www.ict.fraunhofer.de/EN> acesso em jun 2011

GUERIN, Mariana. Consciência ecológica: Reduzir, reusar e reciclar. Reportagem publicada na Folha de Londrina em 30 de abril de 2008

JOFRE, S.; MORIOKA, T. Waste management of electric and electronic equipment: comparative analysis of end-of-life strategies. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. Japão. v. 7, p. 24-32, mar. 2005 acesso ago 2011

KUEHR, R., WILLIAMS, E. “Computers and the environment – understanding and managing their impacts”. Kluwer. Holanda: Academic Publishers. United Nations University, 2003

LEE, CH et al Management An overviews of recycling and treatment of scrap computers. *Journal of Hazardous Materials*. Volume 114, n. 1-3, 2004, P. 93-100, Elsevier

LINDHQUIST Thomas. Extended Producer Responsibility in Cleaner Production Extended Production Policy Principle to Promote Environmental Improvements of dissertação Mai 2000 acesso em jul de 2011

MARTINS, A.H. Recuperação de estanho e cobre a partir da reciclagem de placas de circuito eletrônico de microcomputadores sucataados. Belo Horizonte, MG, 2007

MENETTI, R.P . CHAVES, A.P. TEMÓRIO, J. A. S. Obtenção de Concentrados Metálicos Não Ferrosos a partir de Sucata Eletrônica. In: 51º Congresso Anual da ABM, 1996, Porto Alegre, v.4.

MESQUITA JR, J.M. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo Aplicado a Resíduos Sólidos: Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2007, 40p

MOREIRA D. Lixo eletrônico mundial cabe em trem capaz de dar a volta ao mundo. Disponível em: http://idgnow.uol.com.br/computacao_pessoal/2007/04/26/idgnoticia.2007-04-25.0842446258/ Acesso em ago 2011

PATELLA, Luciana. Por que os equipamentos que facilitam a vida moderna podem ser os vilões do futuro. Revista Conselho em Revista. Tradução de Regina Cláudia Laverri. Porto Alegre, Ano I, n 103, p. 18-21, ago 2011

PNUMA Recycling – from e-waste to resources: Sustainable Innovation and Technology Transfer Industrial Sector Studies. Final Report. Paris: Solving The Ewaste Problem; United Nations Environment Programme; United Nations University, 2011

RAO, Nikhil U. Economic Model For End of life Management of Printend Circuit Boards 2004, Dissertação Mestrado Universidade Texas.

RODRIGUES, A.C. Impactos sócio ambientais dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: estudo da cadeia pós-consumo no Brasil. 2007. 303 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara D'Oest

ROHS. ROHS regulation. Disponível em: <<http://www.rohs.gov.uk/Docs/Links/RoHS.pdf>> Acesso em: junho de 2011

SINHA-KHETRIWAL, D. S.; KRAEUCHI, P.; WIDMER, R., Producer Responsibility for E-waste Management: Key Issues for Consideration e Learning from the Swiss Experience. **Journal of Environmental Management**. p. 1-13, 2007. Disponível em: <http://ewasteguide.info/Khetriwal_2008_JEnvMgmt>. Acesso em: Ago. 2011

VEIT, Hugo M. Emprego de Processamento Mecânico para Reciclagem de Sucatas de Placas de Circuito 2001. Dissertação Mestrado UFRGS, do Rio Grande do Sul

VEIT, H.M. BERNARDES, A.M. Reciclagem de Sucatas Eletrônicas Através da Combinação de Processos Mecânicos e Eletroquímicos. Porto Alegre, RS, 2006

