

Tecnologias para o Tratamento e Reciclagem de Resíduo Eletrônico como Práticas Sustentáveis Inovadoras

Adriana Marize Zeni (IST/SOCIESC) adrianazeni@ig.com.br
Prof. Dr. Marcelo Macedo (IST/SOCIESC) marcelo.macedo@sociesc.org.br
Prof. MSc. Fernando Luiz Freitas Filho (IST/SOCIESC) fernando.freitas@sociesc.org.br
Prof. Dr. Ana Lúcia Beretta Hurtado (IST/SOCIESC) ana.hurtado@sociesc.org.br
Prof. Dr. Ivanir Luiz de Oliveira (UTFPR) ivanir@pesquisador.cnpq.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 e, neste momento, são identificados como Resíduos de Equipamentos Elétricos Eletrônicos (REEEs). O REEE é considerado um resíduo caro, tóxico e ao mesmo tempo precioso com alto valor pela tecnologia e conhecimento agregados à sua produção. A preocupação com os impactos ambientais desses resíduos se justifica pelo fato de que entre os componentes dos dispositivos eletrônicos existem substâncias e materiais tóxicos. Contudo, a maioria dessas substâncias está nas placas de circuito impresso (PCI). Nesse, contexto, o objetivo do artigo é mapear e avaliar como as tecnologias disponíveis para o tratamento e reciclagem de PCIs são utilizadas, bem como demonstrar a importância da inovação para gestão sustentável de REEEs. Os danos ambientais, a necessidade de indicadores de produção de resíduos, motivam a realização da pesquisa. A pesquisa caracteriza-se por exploratória, e para tanto foi realizado um levantamento do estado da arte sobre o tema proposto por meio de uma revisão da literatura. Os resultados desta revisão mostram que, a eco-inovação envolve o desenvolvimento de novos produtos e processos que permitem a redução do impacto ambiental. Observou-se, ainda, que as tecnologias disponíveis para o tratamento/reciclagem de PCIs incluem processos mecânicos, químicos e térmicos.

Palavras chave: Tecnologias, Inovação, Resíduos, Sustentabilidade.

Technologies for the Treatment and Recycling of Electronic Waste as Sustainable Practices Innovative

Abstract

Rapid changes in technology and increased demand resulting in continued growth in production and a significant reduction in the life cycle of technology products. Equipment in good working order shall be considered obsolete and is discarded improperly in the environment and, at present, are identified as Waste Electrical Electronic Equipment (REEEs). The WEEE is considered a waste expensive, toxic and precious at the same time with high value and knowledge aggregated through technology to its production. Concern about the environmental impacts of this waste is justified by the fact that among the components of electronic devices are substances and toxic materials. However, most of these substances is in printed circuit boards (PCB). In this, the context, the aim of the article is to assess how the available technologies for the treatment and recycling of PCBs are used, as well as demonstrating the importance of innovation for sustainable management of REEEs. Environmental damage, the need for indicators of waste, motivate the research. The research is characterized by exploratory, and both a survey of the state of the art on the topic proposed by a review of the literature. The results of this review show that eco-innovation involves the development of new products and processes that enable

the reduction of environmental impact. It was observed also that the available technologies for the treatment / recycling of PCBs include mechanical, chemical and thermal.

Key-words: Technologies, Innovation, Waste, Sustainability

1. Introdução

Segundo Leite (2006) houve uma aceleração no desenvolvimento tecnológico permitindo a introdução constante, e com velocidade crescente, de novas tecnologias e de novos materiais, contribuindo para a melhoria da *performance* técnica e para a redução de preços e dos ciclos de vida útil de grande parcela dos bens de consumo duráveis e semiduráveis.

Diante disso, a expansão do uso de produtos eletroeletrônicos em todos os setores aumenta a quantidade de REEEs. Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2007) considera-se REEE ou lixo tecnológico todo aquele gerado a partir de aparelhos eletrodomésticos ou eletroeletrônicos (EEEs) 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. Estimativas do Programa Ambiental da Organização das Nações Unidas (PNUMA, 2010) indicam que a geração anual REEEs no mundo é de aproximadamente 20 a 50 milhões de toneladas e seu crescimento é três vezes maior do que os outros tipos de resíduos urbanos.

De acordo com Parra e Pires (2003), a inovação estabelece o tempo de vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos em função da substituição de produtos antigos por outros mais modernos. Desse modo, o desafio consiste em aumentar a conscientização entre todos os atores dos diferentes setores a fim de realizar mudanças para a chamada “eco-inovação” considerando o consumo sustentável e os padrões de produção.

Para Colin (2004) a introdução de tecnologias de energia renováveis, sustentáveis que utilizem componentes e operações que suponham um menor custo ecológico, incorporando critérios ambientais de reciclabilidade pode ser considerada uma prática inovadora. Nesse contexto o objetivo do artigo é mapear e avaliar como as tecnologias disponíveis para o tratamento e reciclagem de PCIs são utilizadas, bem como demonstrar a importância da inovação para gestão sustentável de REEEs.

2. Metodologia

Trata-se de uma pesquisa exploratória. Quanto aos meios caracteriza-se como bibliográfica. Para tanto foi realizado um levantamento do estado da arte sobre o tema. A primeira etapa da pesquisa consistiu na revisão da literatura em torno da temática de políticas ambiental e inovação. Para atingir o objetivo principal de mapear e avaliar as tecnologias disponíveis para o tratamento de REEEs foi selecionado textos relevantes sobre o assunto, de diversas regiões do mundo, com destaque para Ásia, Europa e Brasil. A grande maioria dos textos coletados são artigos publicados em periódicos internacionais, com grande conceito no âmbito da engenharia de produção.

3. Aspectos Regulamentares da Gestão de REEEs

Franco (2008) afirma que os REEEs contêm em sua composição substâncias consideradas perigosas e o não aproveitamento de seus resíduos representa um desperdício de recursos naturais não renováveis. Sendo assim os países tentam, através de campanhas, programas, convenções e leis conscientizar as empresas e a população da necessidade de preservar o meio ambiente. Nesse sentido a Diretiva 2002/96/CE, de 27 de janeiro de 2003, institui critérios de gestão de resíduos para os Estados-Membros da Comunidade Europeia (CE). Os equipamentos eletroeletrônicos são formados a partir de um conjunto complexo de materiais,

muito das quais altamente tóxicos. Para Ansanelli (2006) os impactos na saúde humana das misturas e combinação de material nos produtos muitas vezes não são conhecidos. Dessa forma, normas mundiais procuram regulamentar o processo de fabricação de eletroeletrônicos. Dentre elas, as mais difundidas são:

a) *Restriction of Certain Hazardous Substances (RoHS)*

A diretiva *Restriction of Certain Hazardous Substances* significa restrição ao uso de certas substâncias e foi elaborada, no âmbito da União Europeia (UE), para reduzir o impacto ambiental dos equipamentos eletroeletrônicos quando estes alcançam o fim de suas vidas úteis. A RoHS introduz o requerimento da substituição de algumas substâncias considerando os problemas ambientais durante a disposição e reciclagem de lixo eletrônico como, uso de chumbo (Pb), Mercúrio (Hg), Cádmio (Cd), Cromo (Cr-VI), bifenilas polibromadas (PBB) e éteres difenílicos polibromadas (PBDE), a UE impede a comercialização de produtos eletroeletrônicos que contenham essas substâncias.

b) *Waste Eletrínical and Eletronic Equipaments (WEEE)*

A diretiva define alvos para a coleta, tratamento, recuperação e reciclagem de produtos eletroeletrônicos. A WEEE significa Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos e, foi desenvolvida para reduzir os níveis de lixo eletrônico despejados nos aterros e para encorajar a eficiência de recursos por intermédio da reciclagem e do reuso. Como mostra Goosey (2004), a diretiva WEEE abrange praticamente todos os tipos de produtos eletroeletrônicos.

c) *Energy Using Products (EuP)*

A diretiva estabelece um quadro para a definição de requisitos de concepção ecológica *eco design* dirigidos a todo produto que utilize energia para efetuar a função para a qual foi concebido, fabricado e colocado no mercado, permitindo melhorar a sua eficiência energética e desempenho. Sendo assim contribuindo para uma redução do seu impacto ambiental. (ANSANELLI, 2007)

4. Composição da Placa de Circuito Impresso

Hoje, quase todos os aparelhos eletrônicos contêm uma placa de circuito impresso (PCI), 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. (MELO *et al.*, 2002)

A composição da PCI varia de acordo com a idade e, normalmente são classificadas quanto à sua tecnologia. No quadro 1 pode ser verificado a composição típica de uma PCI.

Quadro 1- Composição Típica de uma Placa de Circuito Impresso

Materiais	(%) Peso
Prata	0,3
Ouro	0,04
Cobre	22
Chumbo (Solda)	2,6
Estanho (Solda)	1,5
Fibra de Vidro	30
Resina Epóxi	15
Outros (Fe, Ni, Si)	29

Fonte: Lee *et al.* (2004)

A variedade de metal presentes na PCI dificulta a sua reciclagem. Porém a concentração de ouro em uma placa pode ser 40 a 800 vezes maior que a encontrada em minério de ouro natural. (BLEIWAS, 2001) Paralelamente Veit (2005), afirma que se encontra de 16 há 17 gramas de ouro por tonelada de resíduo de PCI, enquanto que na mineração de ouro a quantidade extraída varia de 6-12 gramas por tonelada de minério. As PCIs constituem cerca de 3% em peso do total da sucata proveniente de equipamentos eletrônicos descartados. (FRANCO, 2009)

Dessa forma, caso sejam descartadas de maneira incorreta provocam sérios danos ao meio ambiente. No quadro 2 são apresentados as substâncias tóxicas relevantes utilizadas nos EEEs e seus efeitos à saúde.

Quadro 2- Substâncias tóxicas relevantes utilizadas nos EEEs e seus efeitos à saúde.

Substância	Utilização	Prejuízo
Chumbo	Soldagem de Placas de Circuito Impresso, Vidros de Tubos de Raio Catódico, Solda e Vidro das Lâmpadas elétricas e Fluorescentes.	Danos no sistema nervoso central e periféricos dos seres humanos. Foram também observado efeitos no sistema endócrino
Mercúrio	Termostatos, Sensores, Relés e interruptores, equipamentos médicos, transmissão de dados, telecomunicação e telefone celular.	O mercúrio inorgânico disperso na água é transformado em metilmercúrio, que acumulam-se facilmente nos organismos vivos, e concentra-se através da cadeia alimentar. Causa danos ao cérebro.
Cádmio	Placas de Circuito Impresso, Resistência de chips SMD, Tubos de Raios Catódicos mais antigos, semicondutores e Detector de Infravermelho.	O cádmio é absorvido por meio da respiração, mas também pode ser ingerido nos alimentos. Efeitos irreversíveis à saúde humana. Acumula-se no corpo humano. Especialmente nos rins.
PBB (Bifenil Polibromadas) e PBDE (Éter Difenil (Polibromados))	Regulamentos incorporados em produtos eletrônicos, como forma de assegurar proteção contra inflamabilidade em placas de circuitos impressos; componentes como conectores, coberturas de plástico e cabos em TVs eletrodomésticos de cozinha.	São desreguladores endócrinos. Quando liberados no meio ambiente não se dissipam imediatamente e, por isso, podem persistir e acumular-se biologicamente na cadeia alimentar.

Fonte: Horner e Gertasakis (2006)

Segundo Horner e Gertasakis (2006) estima-se que 22% do mercúrio consumido anualmente sejam utilizados em equipamentos eletroeletrônicos.

5. Tecnologias Disponíveis para o Tratamento/Reciclagem de PCIs

As formas de reciclagem/tratamento de PCI é complexo e, por esses motivos vários métodos tem sido alvo de estudo. A tecnologia utilizada para a reciclagem de REEEs inclui processos mecânicos, químicos e térmicos. O tratamento mecânico é considerado o menos agressivo ao meio ambiente por gerar menos resíduos contaminantes. (BERNARDES, 2009)

5.1 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. (GERBASE, 2012). Trata-se de uma técnica amplamente utilizada na recuperação de metais provenientes de resíduos eletrônicos, devido em grande parte a sua maior facilidade de controle. As

técnicas mecânicas e hidrometalúrgicas têm sido os métodos tradicionais utilizados na reciclagem de PCI. (CUI; ZHANG, 2008)

Atualmente, técnicas para um tratamento mais adequado desse tipo de material têm sido desenvolvidas, por exemplo, Park & Fray (2009) utilizaram água-régia como material lixiviante para recuperar prata (98%), paládio (93%) e ouro (97%) de resíduo constituído de placas de circuito impresso. Quinet *et al.* (2005) investigaram em laboratório, rotas economicamente viáveis de processos hidrometalúrgicos com a finalidade de recuperar metais preciosos a partir de PCI de aparelhos de telefone celular. O resultado alcançado é 93% de prata, 95% de ouro e 99% de paládio. Conforme Veit (2001) Menetti e Tenório (1996) Cui e Zhang, (2008), as maiores vantagens dos processos hidrometalúrgicos, se comparados com outros processos são: mais precisos, previsíveis, facilmente controláveis, menor risco ao meio ambiente, separação mais fácil entre os componentes e custos mais baixos. A patente de Kogan Vladimir (2006) *Process for the Recovery os Precious Metals from Eletronic Scrap by Means of Hydrometallurgical Techinique*, descreve um processo hidrometalúrgico para a extração de metais preciosos provenientes de REEes ou minerais.

No Brasil recentemente foi desenvolvido uma técnica para a recuperação de prata a partir de filmes radiográficos descartados em hospitais. O processo denominado Hidrometalurgia nanomagnética pode ser utilizado para a produção de metais através de minérios, inclusive aqueles que possuem baixo teor do metal em sua composição. A técnica foi patenteada por um grupo de pesquisadores brasileiros sob orientação do Professor Henrique Toma, no Laboratório de Química Supramolecular e Nanotecnologia (LQSN).

5.2 Pirometalurgia

Esse 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. Dentre os processos pirometalúrgicos utilizados no tratamento de REEes destaca-se o processo Noranda, através do qual cerca de 100 mil toneladas desse tipo de resíduo são tratadas anualmente no Canadá. Deste processo resulta como produto final ouro com pureza de 99,1%, sendo os 0,9% restantes, uma mistura contendo metais preciosos como prata, paládio e platina. (CUI; ZHANG, 2008).

5.3 Eletrometalurgia:

Segundo Yamane *et al.* (2011) a eletrometalurgia é uma forma de refino de metais por meio da eletrólise. Compreendem eletrorecuperação e eletrorefino. Boa parte dos metais presentes nos REEes já se encontram na forma metálica, todavia impura, portanto o objetivo do eletrorefino é obter o metal de interesse em seu estado puro. Uma patente de Li, *et al.* (2009) propõe a obtenção de níquel ultra puro, por meio da combinação do processo hidrometalúrgico com eletrometalúrgico. Conforme o autor, ao final do processo é possível obter níquel a 99,999%. Para Veit, (2001) Menetti e Tenório, (1995) se comparada com os processos pirometalúrgicos, as vantagens da Eletrometalurgia são: poucas etapas de execução; e os concentrados de metais preciosos obtidos representam de 95 a 97% dos metais presentes nos resíduos. Um processo de reciclagem de PCIs utilizando a técnica de eletrorefino está descrito na patente dos Inventores Dills James *et al.* *System For Recycling Printes Circuit Boards*. Inicialmente as PCIs passam pelo processo de pirolise e depois é feita uma pasta do resíduo metálico para compor o eletrodo.

5.4 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. A biometalurgia é um dos métodos de processamento mais recentes. Atualmente esse

processo encontra-se em ascensão não somente no tratamento de sucata eletrônica, mas em diversos processos industriais. Essa técnica compreende a biolixiviação e bioissorção. A biolixiviação pode ser definida como um processo de dissolução de sulfetos minerais que resulta da ação de um grupo de micro-organismos. Essa tecnologia apresenta uma série de vantagens, tais como: economia de insumo, baixo consumo de energia se comparado a um processo pirometalúrgico; baixo investimento de capital inicial e baixo custo operacional. (CUI, *et al.* 2008)

Faramarzi, *et al.* (2004) estudaram a recuperação de ouro de PCI pelo processo de biolixiviação. Os autores demonstraram que os resultados obtidos podem ser futuramente aplicados industrialmente no tratamento de metais contidos em sólidos ou em biorremediação.

A Bioissorção é um processo de interação físico-química, onde tanto organismos vivos ou mortos podem ser usados. Um processo baseado na bioissorção oferece uma série de vantagens quando comparando aos métodos convencionais utilizados. Estes incluem baixo custo de operação, minimização do volume de produtos químicos. O emprego de micro-organismos na recuperação de metais a partir de resíduos eletrônicos pode ser uma alternativa econômica por ser um processo que requer um menor investimento inicial e um baixo consumo energético, principalmente se comparado ao processamento pirometalúrgico, pois este último necessita de um alto consumo de energia e requer um elevado investimento de implantação.

5.5 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. As etapas são o desmantelamento, moagem, classificação granulométrica, separação em meio denso, flotação, atrição, separação magnética e separação eletrostática.

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. 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. Conforme informações do 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.

5.6 Triagem Óptica

Com o rápido desenvolvimento de sensores, da ciência da computação e criação de novos softwares; o processo de triagem óptica (*optical sorting*) vem sendo empregado, especialmente, na reciclagem de bens metálicos não renováveis, na indústria de processamento mineral e, ainda, de forma crescente no tratamento de resíduos de origem eletrônica. Esse método é utilizado para identificar a presença de metais preciosos. Pois, o desenvolvimento contínuo de sensores ópticos mais sofisticados possibilita a operação de triagem automatizada. A medição das propriedades físico-químicas das partículas, como: cor, textura, morfologia, condutividade dentre outras; proporciona uma elevada qualidade na classificação de materiais mistos em frações específicas. Um aparelho de triagem óptica é

constituído por sensores de condutividades que, a partir de leituras eletromagnéticas, identificam uma grande variedade de metais; e/ou linha de câmeras de alta velocidade, que identificam cerca de 1 bilhão de cores no material sobre a esteira e transmitem, em milissegundos, as informações obtidas a um computador de alto desempenho. Um sistema de ejeção pneumática, composto por uma bateria de válvulas, direciona, por intermédio de jatos de ar pressurizado, o material de interesse para distintos compartimentos. (SANTOS, 2011)

6. Regulação para a Inovação Sustentável

A abordagem mais convencional para a inovação e a sustentabilidade concentra-se em como influenciar o desenvolvimento e a aplicação de inovações por meio de regulamentos e controle. (BESSANT e TIDD, 2009) No Brasil, dois importantes setores da economia com elevado índice de inovação merecem destaque devido ao forte impacto ambiental de suas atividades. Trata-se dos setores elétrico e eletrônico. Isso porque seus produtos demandam grande quantidade de insumos, muitos deles metais pesados e tóxicos e porque o descarte de produtos eletrônicos tem se mostrado um grande problema mundial. (ABINEE, 2011)

De acordo com Parra e Pires (2003), a inovação estabelece o tempo de vida útil dos equipamentos eletroeletrônicos em função da substituição de produtos antigos por outros mais modernos, independentemente do fato de estar ou não funcionando. Conforme, esses autores, o desafio consiste em aumentar a conscientização entre todos os atores dos diferentes setores a fim de realizar mudanças para a chamada “eco-inovação” considerando o consumo sustentável e os padrões de produção.

A eco-inovação é definida pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2009) como a produção, assimilação e exploração de uma novidade em produtos, processos de produção, serviços ou na gestão de negócios e métodos, que visa, ao longo de seu ciclo de vida, prevenir ou reduzir substancialmente o risco ambiental, poluição e outros impactos negativos da utilização dos recursos (incluindo energia). A eco-inovação relaciona a sustentabilidade às práticas inovativas, atribuindo às organizações maior responsabilidade ambiental no desenvolvimento de novos produtos e serviços ou na condução de processos industriais. Significa inovar na fase de concepção e desenvolvimento de novos produtos e serviços (incluindo materiais e tecnologias) capazes de realizar a mesma função que os produtos existentes, apenas com um impacto ambiental significativamente menor. (OTTMAN, 2011)

Conforme a OCDE (1999), por meio da política ambiental é possível identificar que a inovação radical em produto, por exemplo, ocorre apenas em resposta às regulações mais severas. Observa-se, entretanto, que a inovação incremental e difusão tecnológica em produto ou processo tornam-se as reações mais comuns por parte dos fabricantes. Além disso, a regulamentação ambiental é necessária para promover os incentivos ao investimento, à inovação tecnológica e ao aperfeiçoamento da gestão ambiental. Dessa forma, é possível entender que as medidas de política ambiental podem gerar importantes mudanças tecnológicas, trazer outros benefícios e criar vantagens competitivas; condições de rigor associadas à flexibilidade regulatória tendem a ter maiores impactos sobre a inovação. (ANDERSEN, 2005)

As políticas públicas tem influência relevante na promoção das eco-tecnologias, pois estimulam o desenvolvimento das inovações e direcionam o investimento privado, seja via marco regulatório, que baliza a pesquisa e desenvolvimento, ou através do financiamento direto à geração de inovações em instituições públicas de pesquisa. (GONZALES, 2009) No âmbito do problema dos REEEs, o desenvolvimento de estratégias para substituição de recursos escassos, conceitos de produção inovadores, introdução de novos materiais, e investimento em tecnologia de reciclagem tornam-se fundamentais. Nesse sentido, a autora

Yarime (2005) ressalta que a produção de eletrônicos com solda livre de chumbo data desde o início dos anos 1990 e teve êxito graças à criação de uma rede de inovação que cobre instituições diversas, como universidades, institutos de pesquisa, associações industriais. Por exemplo, 436 patentes foram registradas entre 1993 e 2001 para desenvolvimento deste tipo de produto. Para minimizar essas dificuldades, Rennings (2000) afirma que políticas públicas de apoio à inovação para a sustentabilidade podem ajudar a diminuir os custos tecnológicos, institucionais e sociais, especialmente nas fases de invenção e de produção no mercado.

Rennings (2000) destaca que as inovações tecnológicas utilizadas como ferramentas de gestão ambiental nas empresas podem ser observadas no Modelo Hohmeyer e Koeschel. Através desse modelo é possível analisar as tecnologias ambientais de acordo com a etapa em que elas são incorporadas à atividade produtiva de uma empresa. Esses autores propõem que as tecnologias ambientais podem ser integradas ao processo, em diferentes momentos

Os autores Kemp e Arundel (1998) propõem uma classificação de inovações ambientais que utiliza como critérios as motivações principais para seu desenvolvimento e suas finalidades ou maneiras de utilização, definindo seis categorias de tecnologias ambientais:

- a) Tecnologias de controle de poluição previnem a emissão direta de emissões danosas ao ar, água ou solo. Envolvem tipicamente tecnologias *end of pipe* que dizem respeito à remediação de problemas gerados nos processos produtivos;
- b) Tecnologias de gerenciamento de resíduos incluem o manejo, tratamento e disposição final de resíduos, pelo próprio produtor ou por firmas especializadas;
- c) Tecnologias limpas, de caráter preventivo, envolvem mudanças na produção integradas ao processo, reduzindo os resíduos gerados;
- d) Tecnologias limpadoras incluem técnicas de remediação como purificadores de ar e tratamento de solos contaminados;
- e) Tecnologias de geração de produtos limpos geram menores impactos ambientais durante seu ciclo de vida (desenho, produção, uso e descarte);
- f) Tecnologias de reciclagem, para minimizar a geração de resíduos reutilizando materiais aproveitáveis nesses resíduos.

Tomando por base essa classificação destaca-se a pesquisa de Barbosa (2011). Em seu estudo o autor identificou que, entre 1989 e 2007, das 501 patentes depositadas pela Agência de Inovação (Inova) da Unicamp, 127 foram classificadas como eco-patentes, ou seja, tecnologias ou processos que reduzem o impacto ambiental das atividades econômicas. Observou-se, ainda, que as eco-patentes estão distribuídas da seguinte maneira: Produtos mais limpos – 17%; Energia limpa e renovável – 10%; Tecnologia de reciclagem – 18% Tecnologias mais limpas –16%; Tecnologia de controle e redução da poluição – 39%.

O avanço da eco-inovação depende de um ambiente institucional propício, que conte com regulação adequada e outros incentivos públicos, como o investimento em pesquisa. Nesse cenário evidencia-se o papel da universidade, pois, a predominância dos licenciamentos de tecnologias de caráter *end-of-pipe* sugere que as empresas buscam as inovações da universidade como forma de minimizar prejuízos ambientais, procurando se adequar à regulação ambiental por meio de soluções remediadoras. (BARBOSA, 2011)

Nesse contexto a acumulação de resíduos eletrônicos cria novas oportunidades incluindo a reciclagem industrial. De fato, a indústria da reciclagem pode ser vista como um dos principais componentes de uma indústria ambiental. A valorização dos resíduos através da reciclagem reconcilia consumidor com o seu ambiente na medida em que há uma maneira de

inverter o problema entre recursos não renováveis e consumo.

De acordo com Pujari (2006), embora se encontre estudos relacionando questões ambientais com processos de inovação, a maioria é realizada em um nível informal, sendo que a literatura existente carece de estudos empíricos que explorem como fazer produtos mais ecológicos e que tenham sucesso no mercado.

7. Considerações

O estudo sobre tecnologias disponíveis para o tratamento/ reciclagem de REEEs permitiu verificar, que grande parte das técnicas é benéfica para o meio ambiente, e alguns tipos de reciclagem são economicamente viáveis. Contudo o custo de aquisição de modernas tecnologias é muito caro, o que dificulta novamente a reciclagem em países em desenvolvimento. Em relação à PCI a tendência à miniaturização e os avanços em produtos eletrônicos vão manter a fabricação de PCI e um campo dinâmico por muitos anos, por este motivo, as inovações na concepção dos produtos e, vários métodos de reciclagem estão sendo utilizados na tentativa de minimizar os impactos ambientais, econômicos e sociais.

Formas diferentes de sistemas de reciclagem de REEE já existem em todo o mundo, visto que, a quantidade de legislação relacionada com a gestão de resíduos tende a aumentar. Dos diversos processos e tecnologias utilizadas no tratamento de resíduos eletrônicos, a parte mais complexa é a recuperação dos metais presentes nas placas de circuito impresso, pois envolve processos metalúrgicos que demandam uma elevada quantidade de energia. Constata-se, então, que os processos mecânicos, que são mais baratos que os processos metalúrgicos, utilizam equipamentos mais simples e de mais fácil operação, são os métodos comumente utilizados no Brasil.

Os resultados enfatizam que as preocupações sociais e políticas sobre o meio ambiente e a sustentabilidade apresentam uma influência fundamental sobre o rumo da inovação. Portanto, as legislações vigentes que regulamentam as práticas ambientais tem influência relevante na promoção da eco-tecnologia e, estimulam o desenvolvimento das inovações em produtos, processos e serviços. Considerando que a eco-inovação é definida como um conjunto de práticas que tem por objetivo tornar a fabricação, o uso e o descarte de equipamentos eletroeletrônico mais sustentável e, menos prejudicial ao meio ambiente, percebe-se a importância da inovação para viabilizar a Gestão Sustentável de REEEs. Pois, neste caso a inovação visa reduzir os efeitos negativos da produção e do consumo, através do desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a remanufatura ou reciclagem dos produtos eletroeletrônicos, ou o tratamento dos resíduos industriais ou dos produtos descartados após o consumo.

8. Referências

ABINEE. Associação Brasileira de Indústria Eletro e Eletrônica Disponível em: <http://www.abinee.org.br/>. Acesso em: 20 agosto. 2011.

ANDERSEN, M. M. *Eco-innovation indicators. Background Paper for the Workshop on Eco-innovation Indicators.* EEA Copenhagen, september, 2005.

ANSANELLI, S. L. de M. *Os Impactos Internacionais das Exigências Ambientais da União Europeia para o Setor de Equipamentos Eletroeletrônicos.* 1ST International Workshop Advances in Cleaner Production Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2007.

BARBOSA, R. K. R. *Eco-inovação na universidade: uma análise das patentes da Universidade Estadual de Campinas.* Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo 2011.

BERNARDES, I. P. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2009.

BESSANT, J. ; TIDD, J. *Inovação e empreendedorismo.* Porto Alegre: Bookman, 2009.

- BLEIWAS, D.** *Obsolete Computers, "Gold Mine," or High-Tech Trash?* Resource Recovery from Recycling. Denver, CO, U.S. Geological Survey, 2001.
- CEMPRE-** Compromisso Empresarial para Reciclagem. Disponível em http://www.cempre.org.br/serv_eletronicos.php. Acesso em 06 ago de 2012.
- COLIN, S.** *Pós-modernismo: Repensando a arquitetura*. Rio de Janeiro: UAPÊ, 2004.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA.** Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama> Acesso em: jun. 2012
- CUI, J. ; ZHANG, L.** *Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review*. Journal of Hazardous Materials 228-256 2008.
- DILLS, J.C.; HALLING, D. B.; WILKES, J.S. ; TROTT.S;** US pat 20,090,288,956. 2009.
- FARAMAZI, M. A.** *Metal solubilization from metal-containing solid materials by Chromobacterium violaceum*. Journal of Biotechnology, vol. 113. 2004.
- FRANCO, R.G.F.** *Protocolo de Referência para Gestão de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos Domésticos para o Município de Belo Horizonte*. Dissertação Mestrado Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte Minas Gerais, 2008.
- GERBASE A. E. ; OLIVEIRA, C. R.** *Reciclagem do Lixo de Informática: Uma oportunidade para a Química*. Química Nova, Vol.35, n° 7 1486-1492, 2012.
- GONZÁLEZ, P. R.** *The empirical analysis of the determinants for environmental technological change: A research agenda*. Ecological Economics, vol. 68, 3, pages 861- 878, 2009.
- GOOSEY, M.** *Introduction and overview*. In: HESTER, Ronald E.; HARRISON, RoyM. (Ed.). *Electronic waste management: design, analysis and application*. New York:Springer, 2009.
- HORNER, R.E ;GERTSAKIS, J.A.** *Literature Review on the Environmental and Health Impacts of Waste Electrical and Electronic Equipment*. Relatório Ministry for the Environment New Zealand Government, 2006.
- KEMP, R.; ARUNDEL, A.** *Survey indicators for environmental innovation*. Idea Paper, number 8, 1998.
- KOGAN, V;** WO 2, 006, 013,568 (A2) 2006.
- LQSN** Laboratório de Química Supramolecular e Nanotecnologia. Disponível em http://www.bcq.usp.br/biblioteca_de_quimica.htm. acesso em 02 de jul.2012.
- LEE, C. Y.; ROINE, K.** *Extended producer responsibility stimulating technological changes and innovation: case study in the Norwegian electrical and electronic industry*. Norwegian University of Science and Technology-Industrial Ecology Program. Report no. 1/2004.
- LEITE, P. R.** *Logística Reversa: meio ambiente e competitividade*. 2ª edição. São Paulo: Prentice Hall, 2009.
- LI, Y.** *Method for producing high-purity nickel*. US 2009/0272651 A1 EUA, 05 de Novembro de 2009.
- MARTINS, A.H.** *Recuperação de estanho e cobre a partir da reciclagem de placas de circuito eletrônico de microcomputadores sucitados*. Belo Horizonte, MG, 2007.
- MELO, P.R.S.; RIOS, E.C.D. ; GUTIERREZ, R.M.V.** *Placas de Circuito Impresso: Mercado Atual e Perspectivas*. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 14, p. 111-136, set. 2001.
- MENETTI, R.P.; CHAVES, A.P. ; TENÓRIO, 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.
- OECD.** *The Oslo Manual: The Measurement of Scientific and Technical Activities*. Paris: OECD; Eurostat, 1997.
- OECD.** *Eco-innovation in industry: enabling green growth*, 2009. Disponível em: <http://www.oecdbookshop.org/oecd/404.asp?fn=/9209061E.PDF>. Acesso em: 07 jul.2012.
- OTTMAN, J.A.** *The new rules of green marketing: strategies, tools, and inspiration for sustainable branding*. California: Berrett-Koehler Publishers, 2011.
- PARRA, P.H. ; PIRES, S.R.I.** *Análise da gestão da cadeia de suprimentos na indústria de computadores*. Gestão & Produção. vol.10 no.1 São Carlos, 2003.

PARK, Y. J.; FRAY, D. J. *Recovery of high purity precious metals from printed circuit boards.* Journal of Hazardous Materials 164. 2009. p.1152-1158.

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.

PUJARI, D. *Eco-innovation and new product development: understanding the influences on market performance.* Technovation 26 (1), 76-85 2006.

QUINET, P. P.J.&VAN LIERDE, A. *Recovery of precious metals from electronic scrap by hydrometallurgical processing routes.* Minerals & ZMetallurgicall processing, vol.22. 2005.

RENNINGS, K. *Redefining Innovation – eco-innovation research and the contribution from ecological economics.* **Ecological Economics**, V. 32, p.319-332. 2000.

SANTOS L.M.; DIAS, L.R. ; CÂMARA, M.R.G. *EcoInovações e o Desenvolvimento de Sistema de Inovação em Meio Ambiente no Brasil.* Seminário em Administração, outubro de 2011.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. USGS. *Obsolete Computers, “gold mine” or High-Tech Trash? Resource Recovery from Recycling,* USGS Fact Sheet FS-060-0a: 2001.

VEIT, H. M. *Emprego de Processamento Mecânico para Reciclagem de Sucatas de Placas de Circuito.* Dissertação Mestrado em Engenharia UFRGS, Porto Alegre. 2001.

YAMANE, L. H.; MORAES, V. T.; ESPINOSA, D. C. R.; TENÓRIO, J. A. S. *Recycling of WEEE: Characterization of spent printed circuit boards from mobile phones and computers.* Waste Management 31. p. 2553-2558, 2011.

YARIME, M. *Public-private partnership in science and technology in Japan: a case of materials innovation.* International Symposium on Public-Private Partnership in Science and Technology Policy, Tokyo, november 12, 2005.

