



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Resíduos eletroeletrônicos: geração, impactos ambientais e gerenciamento

José Diego de Oliveira¹, Vanice Selva¹, Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel¹, Simone Machado Santos¹

¹Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA, da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Recife-PE. E-mail: smachados@hotmail.com (autor correspondente).

Artigo recebido em /03/2017 e aceito em 19/10/2017

RESUMO

Resíduos eletroeletrônicos (REEs), conhecidos como *electronic waste (e-waste)*, correspondem a aparelhos elétricos e eletrônicos que são descartados como lixo. Sua quantidade e toxicidade representam um desafio para o gerenciamento destes resíduos em ambientes urbanos. Este estudo é uma revisão de literatura, que objetiva a caracterização da trajetória, obsolescência e descarte de produtos eletroeletrônicos, com ênfase nos problemas legais, ambientais e de saúde pública, decorrentes do seu mau gerenciamento. As informações foram obtidas através de consulta nas bases Science Direct, ResearchGate e Google Scholar, publicados, majoritariamente, a partir de 2000. Considerando o desenvolvimento tecnológico e a geração de resíduos eletroeletrônicos, a partir da digitalização de produtos tradicionalmente elétricos e da adoção de um estilo de vida consumista, por parte da sociedade, significativas quantidades de REEs foram sendo geradas a partir da década de 1970. A composição dos resíduos eletroeletrônicos é bastante variada, a depender do tipo de produto que o gerou, sendo prevalentes os metais, aumentando os impactos ambientais. A reciclagem clandestina de REEs, crescente em países em desenvolvimento, devido à mão de obra barata e ausência ou baixo controle legal da atividade, tem causado graves problemas de poluição ambiental e para a saúde humana. Muitos países desenvolvidos utilizam dispositivos legais para o gerenciamento dos REEs, geralmente baseados na responsabilidade do produtor. A gestão de resíduos sólidos tem um marco legal importante no gerenciamento desses materiais através da criação de políticas públicas. Acordos firmados entre governos, empresas, cooperativas e consumidores, relacionados ao gerenciamento de REEs, permitem a aplicação de processos adequados de logística reversa.

Palavras-chave: REEs, toxicidade, reciclagem ilegal, logística reversa.

Electronic Waste: Generation, Environmental Impacts and Management

ABSTRACT

Electronic waste (REE or e-waste), corresponds to electrical and electronic devices that are disposed of as waste. Their quantity and toxicity present a challenge for the management of this waste in urban environments. This study is a literature review that aims to characterize the trajectory, obsolescence, and disposal of electronic products, emphasizing on legal, environmental and public health problems due to poor management. The information was obtained by consulting *Science Direct*, *ResearchGate* and *Google Scholar* databases, published mainly after 2000. Considering the technological development and the generation of electrical and electronic waste, from the digitalization of traditional electrical products and the adoption of a consumer lifestyle, significant quantities of REEs were generated from the 1970s onwards. The e-waste is quite varied, depending on the type of product that generated it, being metals prevalent, increasing the environmental impacts. Clandestine recycling of REEs, rising in developing countries due to cheap labor and absence or poor legal control of the activity, has provoked serious problems of environmental pollution and to human health. Many developed countries use legal devices for the management of REEs, usually based on producer responsibility. Solid waste management has an essential legal framework for the management of these materials through the creation of public policies. Agreements signed between governments, companies, cooperatives and consumers, related to the management of REEs, allow the application of appropriate reverse logistics processes.

Keywords: *e-waste*, toxicity, illegal recycling, reverse logistic.

Introdução

Os resíduos eletroeletrônicos (REEs), também conhecidos como *electronic waste* (*e-waste*), correspondem a uma gama de aparelhos elétricos e eletrônicos que, por motivo de quebra e/ou fim de vida útil são descartados como lixo (Robinson, 2009). Tais materiais têm um dos fluxos de crescimento mais rápidos no mundo, tanto em termos de quantidade quanto de toxicidade (Chung et al., 2011). Essas características tornam o gerenciamento de REEs um desafio adicional ao gerenciamento de resíduos urbanos.

Os equipamentos utilizados em informática e os telefones celulares são os artigos de maior rapidez de substituição, com vida útil estimada em cerca de 3 ou 2 anos (Betts, 2008; Greenpeace, 2008). O advento de novos e atrativos designs, além de funções “smart”, nos últimos 20 anos, encurtou bastante a vida útil de muitos produtos eletrônicos (Kiddee et al., 2013).

Aliada à obsolescência tecnológica do próprio produto eletroeletrônico está a obsolescência percebida que, segundo Conceição et al. (2014), reúne um conjunto de valores atribuídos ao produto e que impulsionam o consumidor a trocá-lo, mesmo quando este ainda está em pleno funcionamento. Essa trajetória de consumo tem levado países desenvolvidos a exportarem REEs para países em desenvolvimento (Kiddee et al., 2013). Nos países em desenvolvimento, onde o gerenciamento de resíduos é ineficiente, os REEs são capazes de causar maiores impactos, devido à presença de possíveis substâncias tóxicas, quando manuseados sem segurança por catadores ou quando destinados à lixões. Por conseguinte, uma quantidade imensurável de REEs vem sendo lançada no ambiente, sem os cuidados necessários que esses materiais requerem. Todo esse descarte chama a atenção para a questão ambiental, pois a toxicidade de alguns dos elementos agregados, pode causar não apenas problemas de saúde pública, como também alterar a qualidade de diversos ecossistemas.

Alguns países alteraram a legislação, a fim de atender à crescente demanda por regulação de alguns setores produtivos. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) institui que os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos eletroeletrônicos são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana (Brasil, 2010).

Considerando esse contexto, foi realizada uma revisão de literatura, visando caracterizar a trajetória, a obsolescência e o descarte dos produtos eletroeletrônicos, contribuindo para fornecer um panorama geral sobre a geração e destinação dos REEs no mundo, com ênfase nos problemas legais, ambientais e de saúde pública, decorrentes do mau gerenciamento desses materiais, sobretudo em países em desenvolvimento. Os argumentos baseiam-se em estudos de casos sobre a produção, reciclagem e contaminação por tais materiais, evidenciada em países considerados emergentes, como China e Índia.

Material e métodos

Esta revisão de literatura considerou os trabalhos publicados nos últimos 20 anos, consultando as bases de dados *Science Direct*, *ResearchGate* e *Google Scholar*.

Inicialmente, a revisão aborda questões sobre a trajetória, a obsolescência e o descarte dos produtos eletroeletrônicos. Nas seções subsequentes são discutidos os impactos ambientais, a toxicidade à saúde humana e os instrumentos de gerenciamento de REEs disponíveis no Brasil e no mundo.

Resultados e Discussão

Desenvolvimento tecnológico e geração de resíduos eletroeletrônicos

No início do século XX, a sociedade adotou novos padrões de relacionamento fabril, baseados no modelo Fordista de produção e consumo em massa. Em seguida, de acordo com Oliveira et al. (2015), a expansão econômica proporcionada pelo período pós-segunda guerra mundial, em meados do século XX, acarretou um progresso industrial expressivo para os países desenvolvidos, os quais experimentaram importantes avanços tecnológicos, especialmente no setor eletroeletrônico, nas áreas de automação e computação.

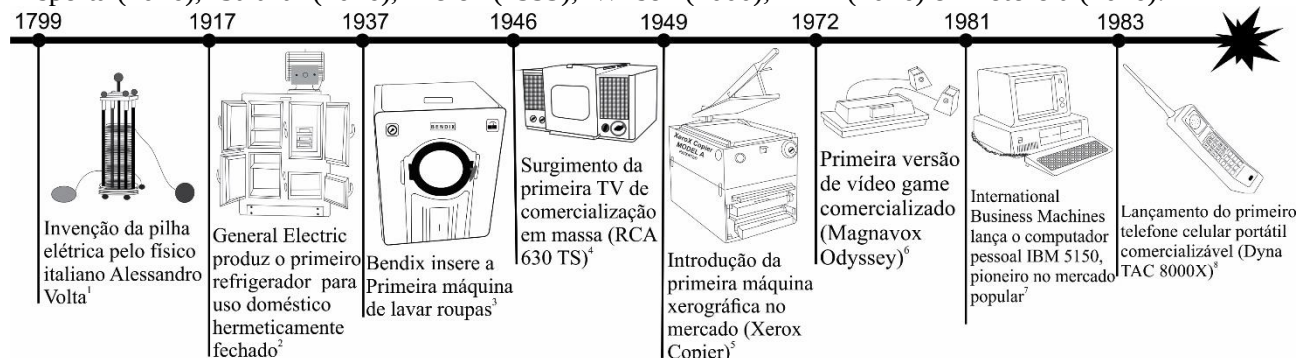
Até a década de 70, quando teve início a revolução digital, a velocidade de lançamento de produtos eletroeletrônicos era limitada pelo desenvolvimento tecnológico. A partir da digitalização de produtos tradicionalmente elétricos e da adoção de um estilo de vida consumista, por parte da sociedade, significativas quantidades de REEs foram sendo geradas (Chung et al., 2011), sobretudo em países desenvolvidos.

A invenção da primeira pilha elétrica, pelo físico italiano Alessandro Volta, em 1799, é tida como um marco na história dos equipamentos elétricos, uma vez que possibilitou que a eletricidade fosse usada em experimentos químicos

(Freitas et al., 2012). Com isso, abriram-se os caminhos necessários para o surgimento posterior de uma série de eletroeletrônicos que

revolucionariam o modo de vida moderno: televisão, telefone, rádio, entre outros (Figura 1).

Figura 1. Linha do tempo - lançamento de alguns equipamentos eletroeletrônicos. ¹Martins (1999), ²GE (2016), ³Esporta (2016), ⁴Salazar (2016), ⁵Xerox (1999), ⁶Wilson (2000), ⁷IBM (2016) e ⁸Motorola (2016).



Fonte: O autor.

Muitos autores relacionaram o descarte de produtos eletroeletrônicos, e consequente aumento da geração de REEs, com dois fenômenos: a obsolescência programada e a obsolescência percebida. Segundo Carvalho (2013), a obsolescência programada (ou planejada) é observada quando um produto deixa de ser útil, mesmo em funcionamento, devido ao lançamento no mercado de um produto tecnologicamente mais avançado. King et al. (2006) afirmam que a obsolescência programada é uma forma do mercado capitalista gerar uma demanda por novas vendas.

Por outro lado, o apelo de novos produtos no mercado, com características diferentes ou adicionais, faz com que a troca de produtos seja ainda mais rápida o que dá origem à obsolescência percebida (King et al., 2006). O consumidor se sente impelido a comprar um novo produto, mesmo quando o seu ainda continua funcionando plenamente. Segundo Conceição et al. (2014), a mídia, informando os lançamentos de novos produtos, desperta no consumidor o desejo de ter o “novo”, o “moderno”, o produto da moda que a massa crítica ou social está utilizando.

Hoje, a diversidade de produtos eletroeletrônicos é tamanha que ele está presente em todos os ambientes sociais. A Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) divide esses produtos em quatro classes: (i) linha branca: refrigeradores e congeladores, lavadoras de roupa e louça, fogões, secadoras, condicionadores de ar; (ii) linha marrom: monitores e televisores de tubo, plasma, LCD e LED, aparelhos de DVD e VHS, equipamentos de áudio, filmadoras; (iii) linha azul: batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos, furadeiras, secadores de cabelo, espremedores de frutas, aspiradores de pó, cafeteiras; e (iv) linha verde: computadores

desktops e *laptops*, acessórios de informática, *tablets* e telefones celulares (ABDI, 2013). Como muitos desses produtos estão presentes na maioria das residências, quando finalizada sua vida útil, são descartados como resíduos comuns, mesmo em países desenvolvidos (Bigum et al., 2013). No entanto, essa situação é mais comum em países em desenvolvimento.

No que diz respeito à produção de REEs, os países pertencentes à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) são os de maior geração (Widmer et al., 2005). Estimativas mostram que os países da União Europeia dispõem cerca de 6,5 milhões de toneladas de REEs por ano, com previsões de aumento para 12 milhões até o ano de 2015 (Robinson, 2009). Liu et al. (2006) previram que, devido ao crescimento do consumo e urbanização, a produção de REEs na China passará de 30.171,3 toneladas (3,5 kg.pessoa⁻¹), em 2005, para 92.000 toneladas (7,78 kg.pessoa⁻¹), até 2020. Em países menos desenvolvidos, como Índia e Tailândia, a estimativa, em 2007, foi de apenas 0,33 e 0,1 milhão de toneladas, respectivamente (Robinson, 2009). No Brasil, maior produtor *per capita* desse tipo de “lixo”, entre os países emergentes, a quantidade anual aproximou-se a 4 kg.pessoa⁻¹ (FEAM, 2013; Pnuma, 2013).

Os REEs possuem uma alta taxa de crescimento no mundo, com produção anual da ordem de 40 milhões de toneladas (Balde et al., 2015; Zhang et al., 2012; Huisman et al., 2008). Como o lançamento de produtos eletroeletrônicos, sobretudo de informática é bastante célere, a tendência é o rápido aumento da geração de REEs, além da dificuldade no seu controle e gerenciamento.

Composição dos resíduos eletroeletrônicos e impactos ambientais

A disposição de REEs em solo e a sua incineração constituem risco aos ambientes aquático, terrestre e atmosférico, sobretudo neste último, quando o tratamento térmico acontece em sistemas incapazes de remover emissões de dioxinas, furanos e outros gases (Akcil et al., 2015).

A composição dos REEs é bastante variada, a depender do tipo de produto que o gerou. Essa composição caracteriza-se por um misto de substâncias químicas simples até hidrocarbonetos complexos (Tabela 1). Os metais apresentam-se em maior quantidade, chegando a representar mais de 70% do total de sucata, muitos considerados até preciosos, pelo alto valor econômico agregado, como aqueles encontrados em televisores de telas planas: platina, ouro, rutênio e índio (Natume e Sant'Anna, 2011). Devido a essa composição, a reciclagem de REEs torna-se interessante para muitos grupos sociais de países em desenvolvimento, dentre eles os catadores, os atravessadores e algumas indústrias. A produção de equipamentos eletroeletrônicos é um setor que demanda importantes quantidades de metais preciosos e especiais, com forte potencial de crescimento (Chancerel et al., 2009). Nesse contexto, a correta reciclagem de REEs é de suma importância, não só para a economia, como também para o meio ambiente.

Tabela 1. Composição de 1 (uma) tonelada de sucata eletroeletrônica mista.

Componente	Quant. (%)
Ferro (Fe)	35 a 40
Cobre (Cu)	17
Chumbo (Pb)	2 a 3
Alumínio (Al)	7
Zinco (Zn)	4 a 5
Ouro (Au)	0,0002 a 0,0003
Prata (Ag)	0,0003 a 0,001
Platina (Pt)	0,00003 a 0,00007
Fibras e plásticos	15
Papel e embalagens	5
Resíduos não recicláveis	3 a 5

Fonte: Adaptada de Rodrigues (2007) e FEAM (2009).

A quantidade e os tipos de substâncias químicas aplicadas em cada produto eletroeletrônico variam, desde partículas até porções de ouro, prata e paládio, como nas Placas de Circuito Impresso (PCI), que possuem cerca de 0,85 g.kg⁻¹ de metal agregado (Hoffmann, 1992). A concentração desses metais chega a ser maior nas PCIs do que em jazidas (Chancerel et al., 2009), até

montantes expressivos, no caso de uma bateria chumbo-ácido de 60Ah, constituída de 9 kg de chumbo (Pavlov, 2011; Cabral Neto, 2016). A recuperação desses metais do lixo (produção secundária) é bem menos impactante para o meio ambiente do que a produção primária, a partir da jazida mineral (Hagelken e Buchert, 2008).

Segundo Hagelken (2006), os REEs são comumente valorizados pelo teor de alumínio em: (i) baixo valor (<100 ppm de alumínio), como placas de TV, placas de monitores, telefones sem fio, calculadoras, entre outros; (ii) médio valor (100 a 400 ppm de alumínio), como placa de circuito de computador, *laptops* e *palmtops*, alguns aparelhos celulares, entre outros; e (iii) alto valor (>400 ppm de alumínio), como placas de circuito de supercomputadores (*mainframes*), alguns aparelhos celulares, capacitores cerâmicos multicamadas, entre outros.

No que diz respeito a outros metais preciosos, se 130 milhões de aparelhos celulares fossem reciclados, cerca de 5,5 milhões de toneladas de ouro e outros metais preciosos poderiam ser recuperados (Earthworks, citado por Leonard, 2011).

Apesar dos metais raros e valiosos contidos nos REEs, a sua recuperação das sucatas é ainda baixa (<15%), considerando sua importância (UNEP, 2011). Isso ocorre porque a reciclagem de metais valiosos a partir de REEs é bastante difícil devido à complexidade e heterogeneidade das misturas contidas em produtos de informática e alguns aparelhos celulares. Uma das razões é a falta de acurácia nas informações sobre composição e propriedades físico-químicas desses materiais (Sun et al., 2015). Apesar dos benefícios ambientais e das restrições legais, a reciclagem é sempre movida por interesses econômicos (Chancerel et al., 2009), ou seja, se existe mercado para absorver o material reciclável, haverá reciclagem. No entanto, nem sempre esse mercado de recicláveis é oficial e regulado pelo poder público, através do controle econômico e ambiental. Portanto, essa possibilidade de recuperação de materiais preciosos, por vezes, fomenta um mercado ilegal e perigoso, sobretudo em países mais pobres, onde as unidades de reciclagem clandestinas não têm o controle adequado dos processos, causando danos ao ambiente e à saúde da população susceptível.

Os perigos da reciclagem clandestina em países em desenvolvimento

A reciclagem clandestina de REEs cresce rapidamente em países em desenvolvimento, devido à mão de obra barata e ausência ou baixo controle legal da atividade (Awasthi et al., 2016). A reciclagem inadequada de REEs, muitas vezes,

por meio de processos rudimentares, tem causado graves problemas de poluição ambiental e contaminação à saúde humana (Kiddee et al., 2013). No Paquistão, Umair et al. (2015) constataram que a reciclagem clandestina de REEs, apesar de trazer impactos sociais e de saúde negativos aos trabalhadores, consegue se manter ativa pois é vital à sobrevivência de famílias muito pobres.

Na cidade de Guiyu está localizada a maior área de reciclagem de REEs da China, e talvez do mundo, onde cerca de 67% da população trabalha em atividades relacionadas à reciclagem desses materiais, apesar dos baixos ganhos. Como na maioria dos países em desenvolvimento, os processos de reciclagem lá usados são muito rudimentares, como por exemplo: desmanche, aquecimento, remoção manual, queima de cabos, uso de ácidos para recuperação de metais, entre outros (Wei e Liu, 2012). Essas operações inadequadas resultam em poluição ambiental e exposição de pessoas a substâncias tóxicas. A ingestão em grande quantidade de elementos tóxicos, provenientes destes resíduos, pode causar

males, que vão desde a perda da visão, do olfato, da audição e, até o enfraquecimento dos ossos (Schons, 2012).

Cada eletroeletrônico tem um nível de toxicidade característico (Tabela 2). Como eles não são biodegradáveis, mesmo em uma baixa quantidade, podem se biomagnificar no meio ambiente (Cheng et al., 2014).

Frequentemente, áreas próximas a locais de armazenamento e desmanche de REEs costumam apresentar algum grau de contaminação. Kiddee et al. (2013) concluíram que existe uma presença significativa de substâncias tóxicas no sangue, soro, urina, leite materno e amostras de tecidos de couro cabeludo, em pessoas residentes nas proximidades de áreas de reciclagem de REEs. Na China, Wang et al. (2012) verificaram que um percentual superior a 30% das crianças de Luqiao e Lanxi, que vivem em áreas próximas a unidades de reciclagem de REEs, apresentaram níveis superiores a $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ de chumbo no sangue, valor considerado como limite pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 1995).

Tabela 2. Substâncias tóxicas associadas aos resíduos eletroeletrônicos (REEs) e suas consequências na saúde.

Substância química	Aplicação em produto eletroeletrônico	Consequências na saúde
Alumínio (Al)	Fios, cabos, placas, revestimentos.	Um dos fatores ambientais que podem provocar a doença do mal de <i>Alzheimer</i> .
Antimônio (Sb)	Agente de derretimento no vidro CRT, caixa de computador de plástico e uma liga de solda em cabeamento.	Substância cancerígena que pode causar dor de estômago, vômitos, diarreia e úlceras estomacais através da inalação de níveis elevados de antimônio por um período prolongado de tempo.
Arsênio (Ar)	Arsenieto de gálio é usado em diodos emissores de luz.	Efeitos crônicos em doenças de pele e câncer de pulmão e de sinalização nervosa auditiva.
Bário (Ba)	Velas de ignição, lâmpadas fluorescentes e interiores de CRT em tubos de vácuo.	Fraqueza muscular, inchaço cerebral, danos no coração, fígado e baço, mesmo em exposição de curto prazo.
Berílio (Be)	Caixas de alimentação, placas-mãe e presilhas.	Beriliose, câncer do pulmão e doenças da pele.
*(BFR); (PBBs); (PBDEs); (TBBPA)	Os BFRs são utilizados na redução da inflamabilidade em plástico, placas de circuito impresso, isolamento de cabo e teclados.	Distúrbios hormonais acarretados pela inalação tóxica dos vapores produzidos pela combustão de circuito impresso e de caixas de plástico.
Cádmio (Cd)	Detecores de infravermelho, chips semicondutores, tintas de impressora, toners e baterias recarregáveis de NiCd.	Acumula-se no fígado, rins (meia-vida de 30 anos nos rins), pulmões, pâncreas, coração e testículos. Em intoxicação crônica pode causar descalcificação óssea, lesão renal, enfisema pulmonar, além de efeitos teratogênicos (deformação fetal) e carcinogênicos (câncer).
Clorofluorcarbonos (CFCs)	Materiais de refrigeração e espuma de isolamento	Contribui para a redução da camada de ozônio da terra, levando a uma maior incidência de câncer de pele.

Cromo hexavalente (CR VI)	Discos rígidos, cabos, Invólucro plástico e como corantes em pigmentos.	Extremamente tóxico ao meio ambiente, provocando danos ao DNA e comprometimento permanente nos olhos.
Chumbo (Pb)	Tubos de raios catódicos, baterias de chumbo-ácido (bateria automotiva), solda, cabos, placas de circuito impresso e lâmpadas fluorescentes.	Geração de danos ao cérebro, sistema nervoso, rins e sistema reprodutor e causar doenças do sangue. O acúmulo deste elemento no ambiente resulta em ambos os efeitos, agudos e crônicos, na saúde humana.
Mercúrio (Hg)	Monitores de tela plana, baterias bulbos de luz de fundo ou lâmpadas, interruptores e termostatos.	Danos no cérebro, rins e fetos.
Níquel (Ni)	Tubos de raios catódicos, baterias, invólucro do computador e placas de circuito impresso.	Reações alérgicas, bronquite e redução da função pulmonar ou câncer de pulmão.
Bifenilas Policloradas (PCBs)	Transformadores, condensadores e fluidos de transferência de calor.	Câncer em animais e danos no fígado de seres humanos.
Policloreto de Vinila (PVCs)	Teclados, monitores, cabos e invólucro plástico de computador.	Substância perigosa e contaminante tóxico do ar. Sua combustão incompleta libera gás cloreto de hidrogênio, que forma o ácido clorídrico, causador de problemas respiratórios.
Selênio (Se)	Máquinas antigas de fotocópia	Elevadas concentrações podem causar selenose.

*Retardantes de Chama à Base de Brometos (BFR); Bifenilas Polibromadas (PBB); Éter Difenil Polibromados (PBDE); Tetrabromobisfenol (TBBPA). Fonte: Adaptado de Ferreira et al. (2008) e Kiddee et al. (2013).

Na região de Agbogbloshie, localizada em Accra, capital de Gana, África Ocidental, considerada o centro da indústria informal de reciclagem de REEs do país, foram identificadas concentrações significativas de Fe, Sb, Pb, Cu, Zn e Cr na urina de trabalhadores de tais instalações, com concentrações de 130, 0,89, 6,06, 254, 614 e 15 $\mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente (Asante et al. 2012).

Qu et al. (2007) estudaram os níveis de PBDEs (éteres difenil-polibromados) no sangue de trabalhadores da reciclagem de lixo eletrônico, na China, e encontraram as maiores concentrações do congênere BDE 209 (3436 ng.g^{-1}) presentes em seres humanos. Na cidade de Guiyu (China), exames feitos em crianças que residiam próximas a locais de reciclagem de REEs, apresentaram uma maior concentração sanguínea de Pb e Cd, acarretando em redução de habilidades de cognição, comparadas com o desenvolvimento de crianças de cidades vizinhas (Huo et al., 2007; Zheng et al., 2008). Estudos realizados por Zheng et al. (2016), em Guiyu (China), mostraram que as emissões de material particulado fino, com elementos carcinogênicos e não-carcinogênicos, provenientes da reciclagem informal de REEs, poderiam afetar a saúde dos residentes, em particular a das crianças. Segundo Li et al. (2008), existem evidências da presença de cromo no sangue do cordão umbilical de recém-nascidos

próximos às áreas de reciclagens de REEs em Guiyu, o que reforça a conclusão de Chen et al. (2011), de que as mulheres grávidas e crianças pequenas, que vivem perto de instalações de reciclagem informal de lixo eletrônico, estão sob risco de possíveis perturbações do feto e mal desenvolvimento neurológico infantil.

Ha et al. (2009) encontraram altos níveis de Cu, Mo, Ag, Cd, In, Sb, Tl e Pb nos cabelos de trabalhadores do sexo masculino, em instalações de reciclagem de lixo eletrônico, na Índia.

O hábito de considerar os REEs como resíduo comum, muito recorrente em países em desenvolvimento, potencializa o problema de poluição. Junto com os resíduos comuns, metais pesados, entre outros contaminantes, podem ser liberados em locais de reciclagem clandestina ou incorporados ao chorume, quando tais resíduos são enviados a lixões, causando poluição no meio ambiente.

Meio físico

Uma das formas de exposição a substâncias perigosas dos REEs se dá através do contato com a poeira produzida nos locais de reciclagem que, quando deslocada para outras áreas por meio da dinâmica atmosférica natural, pode penetrar no organismo por meio de ingestão, inalação e/ou absorção (Robinson, 2009).

A qualidade do ar para PBDEs (éteres de difenilas polibromadas), um usual retardante de chamas, foi monitorada na cidade de Guiyu e comparada com a de dois centros urbanos, Hong Kong e Guangzhou. Os resultados mostraram uma presença desse contaminante de 58 a 691 vezes maior nessa cidade que nestes dois centros urbanos (Deng et al., 2007). Na mesma cidade, Chen et al. (2009) verificaram que níveis substanciais de PBDEs, por exemplo, excederam os 11.742 pg.m⁻³ durante o dia, caindo para 4830 pg.m⁻³ à noite.

Li et al. (2011) verificaram que o solo de Guiyu tem sido seriamente contaminado por Pb, Cd, Cu, Sb e Zn, quando comparado com o padrão de qualidade ambiental para solos da China (*Environmental Quality Standard for Soils*). Também em Guiyu, Zheng et al. (2016) caracterizaram a concentração de metais pesados no material particulado fino atmosférico, presente em locais de reciclagem de REEs. Os resultados mostraram altas concentrações de Pb, Cd, Cr e Mn, quando comparados a outras cidades asiáticas. Leung et al. (2008) ainda relataram concentrações superiores a 2% de Pb e milhares de mg.kg⁻¹ de Cu e Zn em pó, nas estradas de Guiyu.

Em Nova Delhi, capital da Índia, constatou-se existência de metais pesados no solo, na vila de Mandoli, 68 mg.L⁻¹ de Sb, 240 mg.L⁻¹ de Cu, 20 mg.L⁻¹ de Pb, 478 mg.L⁻¹ de Ni, 340 mg.L⁻¹ de Sn e 2710 mg.L⁻¹ de Zn (Greenpeace, 2005).

Em Bangalore (Índia), trabalhadores da reciclagem de REEs respiravam ar contendo Cd, In, Sn, Sb, Bi, além de Pb, em concentrações diversas de 1,48, 1,28, 91,6, 13, 0,971 e 88,9 ng.m⁻³, respectivamente (Ha et al., 2009).

Em amostras do ar no interior de instalações de armazenamento de REEs, na Tailândia, os níveis de PBDEs e congêneres oscilaram entre 46-350 pg.m⁻³, enquanto no ambiente exterior, as concentrações variaram entre 8-150 pg.m⁻³ (Muenhor et al., 2010).

Os solos são superfícies que podem ser assoladas pela lixiviação das substâncias tóxicas contidas nos REEs. O problema torna-se ainda mais sério quando afeta as terras agrícolas, impactando a cadeia alimentar, conforme os diversos níveis de consumidores, causando intoxicação direta e indiretamente (Fu et al., 2008). Leung et al. (2008) relataram concentrações médias na poeira das estradas adjacentes às áreas de reciclagem de REEs, em Guiyu, de Pb, Cu, Zn e Ni, da ordem de 22.600, 6170, 2370 e 304 mg.kg⁻¹, respectivamente, sendo as concentrações de chumbo e cobre de 371 a 155 vezes maiores que em locais distantes de áreas de reciclagem de REEs.

Wong et al. (2007) observaram a presença de toxinas nas águas dos rios Lianjiang (As, Cr, Li, Mo, Sb e Se) e Nanyang (Ag, Be, Cd, Co, Cu, Ni, Pb e Zn) por lixiviação ácida de REEs, em Guiyu, resultando em significativas concentrações de metais dissolvidos.

Wang e Guo (2006) determinaram quantidades de 0,4 mg.L⁻¹ de Pb, oito vezes maior do que o padrão de água potável local (0,05 mg.L⁻¹), em amostras de água de um rio em Guiyu, próximo a uma área de reciclagem de REEs.

A disposição de REEs em aterros sanitários de resíduos comuns, como realizada em alguns países, não é uma solução adequada. A lixiviação de REEs possui diferentes concentrações de substâncias tóxicas, a depender da característica dos resíduos, estágio de decomposição e tipo de aterro (Qasim e Chiang, 1994), o que altera significativamente a configuração do sistema de tratamento e controle dos poluentes gerados de um aterro sanitário de resíduos comuns.

Em pesquisa realizada no estado da Flórida, considerando resíduos lixiviados de computadores, placas de circuito impresso e tubos de raios catódicos e televisores, comparados em onze aterros, constatou-se níveis de Pb que variaram de 0,53 a 5,0 mg.L⁻¹ em placas de circuito impresso e 1,7-6,0 mg.L⁻¹ em tubos de raios catódicos (Jang e Townsend, 2003). Scheutz (2004) aponta para a produção de CFCs (clorofluorcarbonetos) e gases de efeito estufa que podem ser irradiados dos aterros, a partir de substâncias contidas nos aparelhos de refrigeração, como *freezers* e condicionadores de ar.

Meio biótico

A lixiviação dos REEs que chega ao solo pode ser transferida para os vegetais durante a absorção de nutrientes dissolvidos na terra (Fu et al., 2008).

Yang et al. (2008) estudaram os solos de uma área de reciclagem de REEs, no sul da China, e correlacionaram a contaminação por PBDEs e congêneres em folhas de vegetais com a contaminação de solos locais, sendo essa última bastante superior.

Em monitoramento de amostras de arroz da cidade de Taizhou (leste da China), em áreas próximas a depósitos de REEs, obtiveram-se concentrações de Pb (0,69 µg.g⁻¹) e Cd (0,23 µg.g⁻¹) maiores do que a concentração máxima admissível para os padrões de segurança nacional de arroz branqueado (Fu et al., 2008). Análises realizadas em carpas encontradas no rio Nanyang (Guiyu), em locais próximos de reciclagem de REEs, mostraram bioacumulação de PBDEs de 766, 458 e 530 ng.g⁻¹ (peso fresco) no abdômen,

músculos das costas e da cauda, respectivamente (Luo et al., 2007).

Estratégias para o gerenciamento dos resíduos eletroeletrônicos

A maioria dos países desenvolvidos dispõe de dispositivos legais para o gerenciamento dos REEs, geralmente baseados na responsabilidade do produtor. Porém, a aplicação do processo de retorno adequado dos resíduos não é muito fácil, porque muitos deles são considerados, de forma geral, como resíduo comum pela sociedade.

Na década de 80, o envio de resíduos para países dos continentes africanos e centro-americanos era considerado uma forma econômica de descarte de resíduos perigosos, transformando estes locais em verdadeiros lixões dos países desenvolvidos. Grandes discussões políticas foram realizadas na busca de uma relação ética ambiental, culminando com a promulgação, em 1989, da Convenção da Basiléia (Maris e Almeida, 2009). Com vistas a controlar essas movimentações de resíduos entre países, foi instituída esta convenção, que trata do movimento transfronteiriço de resíduos perigosos e seu depósito. Apesar da existência da referida convenção, ainda existiram movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos, dentre eles os REEs, entre países signatários. Segundo Botelho e Held (2013), a imprecisão conceitual da expressão “resíduo perigoso” é considerada um dos grandes entraves desta convenção, reduzindo sua efetividade nos casos de movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos.

Na União Européia, alguns dispositivos legais foram ou estão sendo implementados, visando o envolvimento de fabricantes de produtos eletroeletrônicos e outros atores, no ciclo de vida do produto. A RoHS Directive 2002/95/EC (*Restriction of Hazardous Substances in Electrical and Electronic*) limita o uso de substâncias perigosas em produtos eletroeletrônicos, diminuindo os impactos ambientais da reciclagem e disposição de REEs (UE, 2002a). A EuP Directive 2005/32/EC (*Energy Using Products*) estabelece diretrizes para a eficiência energética de produtos eletroeletrônicos, a fim de aumentar a segurança e assegurar o fornecimento de energia (EU, 2005). A WEEE Directive 2002/96/EC (*Waste Electrical and Electronic Equipment*) exige que os fabricantes e importadores implementem sistema de logística reversa, mediante a devolução do produto eletroeletrônico após o uso pelo consumidor, garantindo o correto tratamento e destino final dos REEs (UE, 2002b).

Nos Estados Unidos, o serviço municipal de limpeza urbana é responsável pelo

gerenciamento de REEs, havendo poucos programas de entrega voluntária (Ongondo et al., 2011); alguns estados, como o de Maine, têm envolvido o setor produtivo na responsabilidade pelos resíduos gerados (Wagner, 2009). Segundo Mattos et al. (2008), estima-se que os Estados Unidos enviam cerca de 12 toneladas por ano de REEs para aterros sanitários.

No Canadá, embora não haja lei federal regulamentando o tratamento e destino final dos REEs, algumas províncias se encarregaram de implementar diferentes opções para o gerenciamento adequado desses resíduos, com foco na responsabilidade do fabricante (Ongondo et al., 2011).

Países como Austrália e Japão desenvolvem modelos de gerenciamento com foco na responsabilidade do fabricante, com a diferença de que, no segundo país, o retorno dos REEs aos produtores pode ser financiado pelos consumidores (Sthiannopkao e Wong, 2013).

A dificuldade de gerenciamento de REEs ainda é maior nos países mais pobres, sobretudo porque alguns deles recebem, de forma clandestina ou não, os resíduos de muitos países desenvolvidos como se fossem mercadorias. De acordo com Ladou e Lovegrove (2013), os Estados Unidos e outros países desenvolvidos têm como destino principal de REEs muitos países da Ásia.

De acordo com Sthiannopkao e Wong (2013), mais da metade dos REEs coletados nos países desenvolvidos é enviada para processamento e disposição final em países como China, Índia, Paquistão e Nigéria. De acordo com Oliveira (2010), a China se destaca como o segundo maior produtor de REEs do planeta, gerando anualmente cerca de 2,3 milhões de toneladas. O acúmulo destes resíduos soma-se, ainda, ao percentual de 70% de sucata eletrônica mundial, que é exportada para esta nação, o restante é enviado para os demais países receptores.

Na Nigéria, em 2007, estimou-se que aproximadamente 8 milhões de telefones celulares e seus acessórios foram descartados em lixões a céu aberto ou em aterros inadequados (Osibanjo e Nnorom, 2007).

Gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos no Brasil

No Brasil, são gerados cerca de 680.000 toneladas de REEs por ano (FEAM, 2009), o que caracteriza o país com um dos maiores geradores desse tipo de resíduo na América Latina e países emergentes.

A gestão de resíduos sólidos no Brasil teve, no ano de 2010, um marco legal importante no gerenciamento desses materiais, com a sanção da

Política Nacional de Resíduos Sólidos, por meio da Lei Federal 12.305/2010 (Brasil, 2010), após 21 anos de tramitação no Congresso Nacional. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) passou a contemplar ações, como a logística reversa dos resíduos sólidos e a inclusão social dos catadores de materiais recicláveis, no sistema de gerenciamento. No que diz respeito à logística reversa, a PNRS requer que os fabricantes, importadores, distribuidores e revendedores de produtos eletroeletrônicos, e seus componentes, implementem um sistema para a devolução do produto, após o uso pelo consumidor. No entanto, não há regulamentação, nem definição específica, para os REEs na PNRS, o que dificulta, sobremaneira, a sua implementação no que se refere à coleta, à reciclagem e à logística reversa desses resíduos (Sant'Anna et al., 2014).

Atualmente são poucos os pontos de coleta e informações disponíveis para que se dê início a um processo de coleta e destino adequado aos REEs. Também ainda estão sendo discutidos acordos setoriais firmados entre governos, empresas, cooperativas e consumidores, relacionados ao gerenciamento de REEs (Sigrist et al., 2015), para que se possa dar início à logística reversa desses materiais.

Referências

- ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2013. Logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos. Brasília.
- Akcil, A. Erust, C., Gahan, C., Ozgun, M., Sahin, M., Tuncuk, A., 2015. Precious metal recovery from waste printed circuit boards using cyanide and non-cyanide lixiviants-A review. *Waste Management* 45, 258-271.
- Asante, K.A., Agusa, T., Biney, C.A., Agyekum, W.A., Bello, M., Otsuka, M., Itai, T., Takahashi, S., Tanabe, S., 2012. Multi-trace element levels and arsenic speciation in urine of e-waste recycling workers from Agbogbloshie, Accra in Ghana. *Science of the Total Environment* 424, 63-73.
- Awasthi, A., Zeng, X., Li, J., 2016. Environmental pollution of electronic waste recycling in India: A critical review. *Environmental Pollution* 211, 259-270.
- Baldé, C.P., Wang, F., Kuehr, R., Huisman, J., 2015. The global e-waste monitor 2014. United Nations University, 1-80.
- Betts, K., 2008. Producing usable materials from e-waste. *Environmental Science & Technology* 42, 6782-6783.
- Bigum, M., Petersen, C., Christensen, T.H., Scheutz, C., 2013. WEEE and portable batteries in residual household waste: quantification and characterization of misplaced waste. *Waste Management* 33. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X13002493>. Access: 13 set. 2016.
- Botelho, T.R., Held, T.M.R., 2013. Uma análise sobre a convenção de Basileia e os movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos e seu depósito, in: CONPEDI/UNINOVE (Org.), *Direito Ambiental I*. Editora FUNJAB, Florianópolis, pp. 302-331.
- BRASIL, 2010. Lei nº 12.305, de 2 de agosto. Available: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Access em: 17 de setembro de 2014.
- Cabral Neto, J.P., 2016. Estimativa da geração de sucata de bateria de chumbo-ácido como ferramenta de gestão de resíduos eletroeletrônicos. Dissertação (Mestrado). Caruaru, UFPE.
- Carvalho, C.R.S., 2013. A sociedade de risco e o descarte de computadores. *Revista Eletrônica do Curso de Direito* 8, 264-275.
- Chancerel, P., Meskers, C., Hagelüken, C., Rotter, V., 2009. Assessment of Precious Metal Flows During Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment. *Journal of Industrial Ecology* 13, 791-810.
- Chen, A., Dietrich, K.N., Huo, X., Ho, S., 2011. Developmental neurotoxins in e-waste: an emerging health concern. *Environmental Health Perspectives* 119, 431-438.
- Chen, D., Bi, X., Zhao, J., Chen, L., Tan, J., Mai, B., Sheng, G., Fu, J., Wong, M., 2009. Pollution characterization and diurnal variation of PBDEs in the atmosphere of an e-waste dismantling region. *Environmental Pollution* 157, 1051-1057.
- Cheng, Z., Wang, Y., Wang, S., Zhang, G., 2014. The influence of land use on the concentration and vertical distribution of PBDEs in soils of an e-waste recycling region of South China. *Environmental Pollution* 191, 126-131.
- Chung, S., Lau, K., Zhang, C., 2011. Generation and control measures for e-waste in Hong Kong. *Waste Management* 31. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X10005064>. Access: 19 ago. 2016.
- Conceição, J., Conceição, M., Araújo, P., 2014. Obsolescência programada-tecnologia a serviço do capital. *Journal of Engineering and Technology Innovation* 2, 90-105.
- Deng, W.J., Zheng, J.S., Bi, X.H., Fu, J.M., Wong, M.H., 2007. Distribution of PBDEs in air particles from an electronic waste recycling compared with Guangzhou and Hong Kong,

- South China. *Environment International* 33, 1063-1069. Available: <https://portalseer.ufba.br/index.php/anaiseneq2012/article/download/7616/5193>. Access: 21 ago. 2016.
- Esporta. Esporta Wash Systems, 2013. The Evolution of Washing Technology. Available: <http://esporta.ca/evolution-of-washing-technology-1/>. Access: 21 jan. 2016.
- FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2009. Diagnóstico da geração de resíduos eletroeletrônicos no estado de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Ferreira, P.C., Piai, K.A., Takayanagui, A.M.M., Segura-Muñoz, S.I., 2008. Alumínio como fator de risco para a doença de Alzheimer. *Revista Latino-americana de Enfermagem* 16. Available: http://www.scielo.br/pdf/rlae/v16n1/pt_22.pdf. Access: 19 out. 2016.
- Freitas, L.A.B., Gomes, R., Moura, A.L., Almeida, M.A.V., 2012. Parceria bolsista PIBID e professora do ensino médio: a história da química como facilitadora na aprendizagem de eletroquímica. XVI Encontro Nacional de Ensino de Química (XVI ENEQ) e X Encontro de Educação Química da Bahia (X EDUQUI). Available: <https://portalseer.ufba.br/index.php/anaiseneq2012/article/view/7616>. Access: 18 jul. 2016.
- Fu, J., Zhou, Q., Liu, J., Liu, W., Wang, T., Zhang, Q., Jiang, G., 2008. High levels of heavy metals in rice (*Oryza sativa* L.) from a typical E-waste recycling area in Southeast China and its potential risk to human health. *Chemosphere* 71. Available: https://www.researchgate.net/publication/5561810_High_Levels_of_Heavy_Metals_in_Rice_Oryza_sativa_L_from_a_Typical_E-Waste_Recycling_Area_inSoutheast_China_and_Its_Potential_Risk_to_Human_Health. Available: 06 jun. 2016.
- GE. General Electric. História: 1913-1924. Available: http://www.ge.com/br/nossa-empresa/historia/1913_1924. Access: 19 fev. 2016.
- GREENPEACE, 2005. Recycling of electronic wastes in China & India: workplace & environmental contamination. Amsterdam.
- GREENPEACE, 2008. Toxic Tech: not in our backyard. Amsterdam.
- Ha, N., Agusa, T., Ramu, K., Tu, N.P.C., Murata, S., Bulbule, K.A., Parthasarathy, P., Takahashi, S., Subramanian, A., Tanabe, S., 2009. Contamination by trace elements at e-waste recycling sites in Bangalore, India. *Chemosphere* 76, 9-15.
- Hagelüken, C., 2006. Recycling of electronic scrap at umicore's integrated metal smelter and refinery. *World of Metallurgy-Erzmetall* 59, 152-161.
- Hagelüken, C., Buchert, M., 2008. The mine above ground-opportunities & challenges to recover scarce and valuable metals from EOL electronic devices. *International Electronics Recycling Congress IERC 7*, 16-18.
- Hoffmann, J.E., 1992. Recovering precious metals from electronic scrap. *JOM: the journal of the Minerals, Metals & Materials Society* 44.
- Huisman, J., Magalini, F., Kuehr, R., Maurer, C., Ogilvie, S., Poll, J., Delgado, C., Artim, E., Szlezak, J., Stevels, A., 2008. Review of directive 2002/96 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). Bonn.
- Huo, X., Peng, L., Xu, X., Zheng, L., Qiu, B., Qi, Z., Zhang, B., Han, D., Piao, Z., 2007. Elevated blood lead levels of children in Guiyu, an electronic waste recycling town in China. *Environmental Health Perspectives* 115, 1113-1117.
- IBM. International Business Machines. The PC Personal Computing Comes of Age. Available: <http://www03.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/personalcomputer/transform/>. Access: 20 abr. 2016.
- Jang, Y., Townsend, T.G., 2003. Leaching of lead from computer printed wire boards and cathode ray tubes by municipal solid waste landfill leachates. *Environmental Science & Technology* 37. Available: https://www.researchgate.net/publication/9030107_Leaching_of_Lead_from_Computer_Printed_Wire_Boards_and_Cathode_Ray_Tubes_by_Municipal_Solid_Waste_Landfill_Leachates. Access: 10 jun. 2016.
- Kiddee, P., Naidu, R., Wong, M.H., 2013. Electronic waste management approaches: an overview. *Waste Management* 33. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X13000147>. Access: 21 jun. 2016.
- King, A., Burgess, S., Ijomah, W., McMahon, C., 2006. Reducing waste: repair, recondition, remanufacture or recycle? *Sustainable Development* 14, 257-267.
- Ladou, J., Lavegrove, S., 2008. Export of electronic equipment waste. *International Journal of Occupational and Environmental Health* 14. Available: <https://pdfs.semanticscholar.org/b5b0/e35e8fda51c584c094f4b50493b90814125b.pdf>. Access: 19 set. 2016.
- Leonard, A., 2011. A história das coisas: da natureza ao lixo, o que acontece com tudo que consumimos/Annie Leonard com Ariane

- Conrad; Revisão técnica André Piani Besserman Vianna; tradução Heloisa Mourão. Rio de Janeiro: Zahar. ISBN: 978-85-0728-6.
- Leung, A.O., Douzgoren-Aydin, N.S., Cheung, K.C., Wong, A.M.H., 2008. Heavy metals concentrations of surface dust from e-waste recycling and its human health implications in Southeast China. *Environmental Science & Technology* 42. Available: http://archive.ban.org/library/Scientific/Leung_HM_Dust_Guiyu_2008.pdf. Access: 18 out. 2016.
- Li, Y., Xu, X., Wu, K., Chen, G., Liu, J., Chen, S., Gu, C., Zhang, B., Zheng, L., Zheng, M., Huo, X., 2008. Monitoring of lead load and its effect on neonatal behavioral neurological assessment scores in Guiyu, an electronic waste recycling town in China. *Journal of Environmental Monitoring* 10, 1233-1238.
- Li, J., Duan, H., Shi, P., 2011. Heavy metal contamination of surface soil in electronic waste dismantling area: site investigation and source-apportionment analysis. *Waste Management & Research*, 29, 7, 727-738.
- Liu, X., Tanaka, M., Matsui, Y., 2006. Generation amount prediction and material flow analysis of electronic waste: a case study in Beijing, China. *Waste Management & Research* 24. Available: https://www.researchgate.net/publication/6677161_Generation_amount_prediction_and_material_flow_analysis_of_electronic_waste_A_case_study_in_Beijing_China. Access: 01 set. 2016.
- Luo, Q., Cai, Z. W., Wong, M.H., 2007. *Science of the Total Environment* 383, 115-127.
- Maris, T., Almeida, L.T., 2009. A convenção da Basiléia e os desafios para o seu progresso. II Simpósio de Pós-Graduação em Relações Internacionais do Programa “San Tiago Dantas” (UNESP, UNICAMP e PUC/SP). Available: http://www.santiagodantassp.locaweb.com.br/br/simp/artigos2009/thiago_maris_luciana_almeida.pdf. Access: 11 ago. 2016.
- Martins, R.A., 1999. Alessandro Volta e a invenção da pilha: dificuldades no estabelecimento da identidade entre o galvanismo e a eletricidade. *Acta Scientiarum* 21. Available: <http://ojs.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/3079/2362>. Access: 20 abr. 2016.
- Mattos, K.M.C., Mattos, K.M., Parales, W.J.S., 2008. Os impactos ambientais causados pelo lixo eletrônico e o uso da logística reversa para minimizar os efeitos causados ao meio ambiente. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção [online]. Available: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_tn_stp_077_543_11709.pdf. Access: 16 set. 2016.
- Motorola. Motorola Solutions, 1928. A Legacy of Innovation: Timeline of Motorola history since. Available: http://www.motorolasolutions.com/en_us/about/company-overview/history/timeline.html. Access: 20 abr. 2016.
- Muenhor, D., Harrad, S., Ali, N., Covaci, A., 2010. Brominated flame retardants (BFRs) in air and dust from electronic waste storage facilities in Thailand. *Environment international* [online] 36. Available: https://www.researchgate.net/publication/45096629_Brominated_flame_retardants_BFRs_in_air_and_dust_from_electronic_waste_storage_facilities_in_Thailand. Access: 03 ago. 2016.
- Natume, R.Y., Sant’Anna, F.S.P., 2011. Resíduos eletroeletrônicos: um desafio para o desenvolvimento sustentável e a nova lei da política nacional de resíduos sólidos. 3º International Workshop Advances in Cleaner Production. Available: http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/5b/6/natume_ry%20-%20paper%20-%205b6.pdf. Access: 11 ago. 2016.
- Oliveira, C.R., 2010. Alternativas tecnológicas para o tratamento e reciclagem do lixo de informática. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Porto Alegre, UFRS.
- Oliveira, V.F., Paula, E.F.A., Costa, M.V.O., Fernandes, P.H.P., 2015. A expansão do número de cursos e de modalidades de engenharia. XLIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Available: http://www.ufjf.br/observatorioengenharia/files/2012/01/Cobenge2015_verseosite.pdf. Access: 15 ago. 2016.
- Ongondo, F.O., Williams, I.D., Cherrett, T.J., 2011. How are WEEE doing? A global review of the management of electrical and electronic wastes. *Waste Management* 31, 714-730.
- Osibanjo, O., Nnorom, I.C., 2007. Material flows of mobile phones and accessories in Nigeria: environmental implications and sound end-of-life management options. *Environmental Impact Assessment Review* 28, 198-213.
- Pavlov, D., 2011. Lead-Acid batteries: Science and technology – A handbook of lead-acid battery technology and its influence on the product, 1 ed. Elsevier, Science, Amsterdam.
- PNUMA. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2013.
- Qasim, S., Chiang, W., 1994. Sanitary Landfill Leachate: generation, control and treatment. Lancaster: Technomic Publishing Company.

- Qu, W., Bi, X., Sheng, G., Li, L., 2007. Exposure to polybrominated diphenyl ethers among workers at an electronic waste dismantling region in Guangdong, China. *Environment International* 33, 1029-1034.
- Robinson, B.H., 2009. E-waste: Na assessment of global production and environmental impacts. *Science of the Total Environment* [online] 408. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969709009073>. Access: 15 jun. 2016.
- Rodrigues, A.C., 2007. Impactos socioambientais dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: estudo da cadeia pós-consumo no Brasil. Dissertação (Mestrado). Santa Bárbara D'Oeste, UNIMEP.
- Salazar, C. Newspaper Am New York, 2014. TVs through the years: 1939 NY World's Fair to digital screens. Available: <http://www.amny.com/entertainment/tvs-through-the-years-1939-ny-world-s-fair-to-digital-screens-1.7759949>. Access: 24 mar. 2016.
- Sant'Anna, L.T., Machado, R.T.M., Brito, M.J., 2014. Os resíduos eletroeletrônicos no Brasil e no exterior: diferenças legais e a premência de uma normatização mundial. *Revista de Gestão Social e Ambiental* 8, 37-53.
- Scheutz, C., 2002. Attenuation of methane and trace organics in landfill soil covers. Tese (Doutorado). Kongens Lyngby, DTU.
- Schons, P.C., 2012. O gerenciamento dos resíduos eletroeletrônicos: um estudo sobre as empresas de informática em São Miguel do Oeste-SC. E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial [online] 5. Available: <http://revista.ctai.senai.br/index.php/edicao01/article/view/277/241>. Access: 10 ago. 2016.
- Sigrist, C.S.L., Fonseca, L.F.B., Veiga, J.M., Paiva, J.M.F., Moris, V.A.S., 2015. Desenvolvimento de ponto de coleta de resíduos eletroeletrônicos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental* 19, 1423-1438.
- Sthiannopkao, S., Wong, M.H., 2013. Handling e-waste in developed and developing countries: initiatives, practices, and consequences. *Science of the Total Environment* 463-464, 1147-1153.
- Sun, Z.H.I., Xiao, Y., Sietsma, J., Agterhuis, H., Visser, G., Yang, Y., 2015. Characterisation of metals in the electronic waste of complex mixtures of end-of-life ICT products for development of cleaner recovery. *Waste Management* 35, 227-235.
- UEa, 2002. Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment.
- UE, 2002b. Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003
- UE, 2005. Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council of 6 July 2005 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-using products and amending Council Directive 92/42/EEC and Directives 96/57/EC and 2000/55/EC of the European Parliament and of the Council.
- Umair, S., Björklund, A., Petersen, E., 2015. Social impact assessment of informal recycling of electronic ICT waste in Pakistan using UNEP SETAC guidelines. *Resources, Conservation and Recycling* 95, 46-57.
- UNEP. United Nations Environment Programme, 2011. Recycling rates of metals-A status report. Paris.
- Wagner, T. P., 2009. Shared responsibility for managing electronic waste: a case study of Maine, USA. *Waste Management* 29, 3014-3021.
- Wang, J., Guo, X., 2006. Impact of electronic wastes recycling on environmental quality. *Biomedical and Environmental Sciences* [online] 19. Available: https://www.researchgate.net/publication/6958499_Impact_of_electronic_wastes_recycling_on_environmental_quality. Access: 18 out. 2016.
- Wang, X., Miller, G. Ding, G., Lou, X., Cai, D., Chen, Z., Meng, J., Tang, J., Chu, C., Mo, Z., Han, J., 2012. Health risk assessment of lead for children in tinfoil manufacturing and e-waste recycling areas of Zhejiang Province, China. *Science of the Total Environment* 426, 106-112.
- Wei, L., Liu, Y., 2012. Present status of e-waste disposal and recycling in China. *Procedia Environmental Sciences* 16, 506-514.
- WHO. World Health Organization, 1995. Inorganic lead, ed. 165. Geneva.
- Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D., Schnellmann, M., Böni, H., 2005. Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review* 25, 436- 458.
- Wilson, J.A., 2000. Odyssey renewed: towards a new aesthetics of video-gaming. *M/C: A Journal of Media and Culture* [online] 3. Available: <http://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=2016&context=sspapers>. Access: 01 jun. 2016.
- Wong, C., Duzgoren-Aydin, N., Aydin, A., Wong, M.H., 2007. Evidence of excessive releases of

- metals from primitive e-waste processing in Guiyu, China. *Environmental Pollution* 148, 62-72.
- Wu, J., Luo, X., Zhang, Y., Luo, Y., Chen, S., Mai, B., Yang, Z., 2008. Bioaccumulation of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in wild aquatic species from an electronic waste (e-waste) recycling site in South China. *Environment International* 34, 1109-1113.
- Xerox. Xerox Corporation, 1999. The Story of Xerography. Available: <http://www.xerox.com/downloads/usa/en/s/Storyofxerography.pdf>. Access: 20 abr. 2016.
- Yang, Z.Z., Zhao, X.R., Zhao, Q., Qin, Z.F., Qin, X.F., Xu, X.B., Jin, Z.X., Xu, C.X., 2008. Polybrominated diphenyl ethers in leaves and soil from typical electronic waste polluted area in South China. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 80, 340-344.
- Zhang, W., Yang, J., Wua, X., Hu, Y., Yu, W., Wang, J., Dong, J., Li, M., Liang, S. Hu, J., Kumar, R., 2016. A critical review on secondary lead recycling technology and its prospect. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 61, 108-122.
- Zhang, Z., Schnoor, J., Zeng, E., 2012. E-Waste Recycling: Where Does It Go from Here? *Environmental Science & Technology* 46, 10861-10867.
- Zheng, L., Wu, K., Li, Y., Qi, Z., Han, D., Zhang, B., Gu, C., Chen, G., Liu, J., Chen, S., Xu, X., Huo, X., 2008. Blood lead and cadmium levels and relevant factors among children from an e-waste recycling town in China. *Environmental Research* 108, 15-20.