

LIXO ELETRÔNICO E SEUS IMPACTOS AOS RECURSOS HÍDRICOS

ELECTRONIC WASTE AND ITS IMPACTS ON WATER RESOURCES

Rafael Marcos Bosquesi

Bacharel em Química (UNOPAR), Especialista em Gestão de Recursos Hídricos: governança e sustentabilidade (UNINTER)
rafaelbosquesi@hotmail.com

Rafael Lopes Ferreira

Gestor Ambiental (Faculdades Integradas Camões/PR), Especialista em Biotecnologia (PUC/PR), Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental (UTFPR)
raffa.amb@gmail.com

RESUMO

A geração de lixo eletrônico é um dos maiores desafios a ser enfrentado pela sociedade. Como apenas uma pequena parte tem destinação final adequada, ressalta-se a importância da gestão destes resíduos que possuem em sua composição substâncias altamente tóxicas que podem causar danos ao meio ambiente e à saúde humana. Buscou-se então com este trabalho, a partir de uma pesquisa bibliográfica, compreender a atual situação do lixo eletrônico, como sua geração, a legislação relacionada à sua gestão, seus impactos ao meio ambiente e aos recursos hídricos, e as alternativas para evitar esses impactos. Os resultados demonstraram que a geração de lixo eletrônico cresce em ritmo elevado não só em países desenvolvidos, mas também nos emergentes como o Brasil. Entretanto, a gestão destes resíduos não acompanha esse ritmo, o que acaba deixando espaço para o descarte inadequado. Esta falta de gestão deve-se, em partes, pela legislação que ainda carece de acordos setoriais e regulamentações específicas, criando brechas para o descarte em locais impróprios e sem tratamento, o que culmina em poluição atmosférica, contaminação do solo e dos recursos hídricos, o que acaba afetando a saúde de toda a população. A alternativa mais adequada para a redução desses impactos, e que já é estipulada pela PNRS, é a logística reversa. Porém, sua aplicação ainda enfrenta vários desafios, pois suas atividades envolvem governo, indústrias, distribuidores e consumidores. Todavia, sua implantação efetiva nos diversos setores industriais do país propiciaria um adequado gerenciamento dos REEE, melhorando as condições ambientais e a qualidade de vida.

Palavras chave: Lixo eletrônico. Recursos hídricos. Poluição das águas.

ABSTRACT

The e-waste production is one of the biggest challenges to be faced by society. As only a small part has the correct destination, it must be emphasized the importance of managing these wastes which have in their composition highly toxic substances that can cause damage to the environment and human health. The aim of this paper was, based on a bibliographical research, to understand the current situation of e-waste, its production, the legislation related to its management, its impacts on the environment and water resources, and alternatives to avoid these impacts. The results showed that the generation of e-waste grows at a high rate not only in developed countries, but also in emerging ones such as Brazil. However, the management of these wastes does not follow that pace, and inadequate disposal happens. This lack of management is due to a legislation that still lacks sectoral agreements and specific regulations, creating gaps for disposal in improper sites and without treatment, culminating in air, soil and water pollution, which affects the health of the entire population. The most appropriate alternative to reduce these impacts is already stipulated by the PNRS: reverse logistics. However, its application still faces several challenges because its activities involve government, industries, distributors and consumers. But its effective implementation in the various industrial sectors of the country would provide an adequate management of WEEE, improving environmental conditions and quality of life.

Keywords: Electronic waste. Water resources. Water pollution.

INTRODUÇÃO

As pessoas diante de tantas novidades, influenciadas pela mídia ou pelo barateamento das tecnologias, estão sempre adquirindo novos produtos eletrônicos mais modernos e sofisticados como celulares, televisões, computadores, entre outros. Tal fato deve-se também ao grande apelo por parte da sociedade para que a população adquira novos produtos e mantenha-se sempre atualizada (FREITAS, 2009; ROCHA; CERETTA; CARVALHO, 2010).

Essa rápida evolução tecnológica, a inviabilidade financeira de um reparo frente à aquisição de um novo aparelho e os hábitos consumistas da sociedade que olha com naturalidade a substituição dos produtos como se fossem descartáveis, são fatores que aceleram a obsolescência dos mesmos e acabam gerando uma enorme quantidade de resíduos sólidos que causam graves problemas ambientais (LIMA; SILVA; LIMA, 2008; SAKAI; GOMES; BASTOS, 2009).

O descarte de resíduos sólidos, em particular o de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE), é uma grande preocupação de acadêmicos e profissionais ligados à questão da sustentabilidade ambiental devido às consequências de sua destinação inadequada. Em todo o mundo, anualmente são gerados aproximadamente 50 milhões de toneladas de lixo eletrônico que, devido à enorme quantidade de materiais e substâncias tóxicas, podem causar danos irreversíveis ao meio ambiente e a saúde humana (KASPER *et al.*, 2009; MACIEL, 2011; SEO; FIRGERMAN, 2011).

Devido à falta de incentivo a prática de reciclagem e de legislação que determine a destinação e tratamento adequado, grande parte do lixo eletrônico chega aos aterros sanitários ou lixões como resíduos urbanos comuns. Desta forma, esses resíduos liberam substâncias altamente tóxicas como chumbo, mercúrio, cádmio, arsênio, alumínio, cobre e berílio, que penetram no solo e alcançam os lençóis freáticos contaminando, por conseguinte, as águas, plantas, animais e os seres humanos (REZENDE *et al.*, 2011; SELPIS; CASTILHO; ARAÚJO, 2012).

Este é um problema global que atinge não só países desenvolvidos como os Estados Unidos, Japão e países da União Europeia, mas também os emergentes como o Brasil. Entretanto, a crescente preocupação com a preservação do meio ambiente e a destinação correta dos resíduos sólidos, especialmente os eletrônicos devido ao seu efeito nocivo,

estimula a busca por alternativas eficientes para solucionar este problema (FREITAS; FREITAS, 2014; PEREIRA; FERRAZ; MASSAINI, 2014).

Diante do exposto, buscou-se com o presente trabalho explorar a problemática da geração de resíduos eletroeletrônicos, seus impactos ao meio ambiente e aos recursos hídricos, a legislação pertinente a sua gestão e as alternativas que possam reduzir seus efeitos nocivos ao meio ambiente, a partir de uma pesquisa bibliográfica onde se selecionaram as publicações científicas relacionadas ao tema proposto.

GERAÇÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

A geração de resíduos sólidos é motivo de preocupação em todo o mundo, tornando-se um dos maiores desafios a ser enfrentado pela sociedade moderna devido aos seus impactos, sejam eles tanto socioeconômicos como ambientais (SELPIS; CASTILHO; ARAÚJO, 2012; USHIZIMA; MARINS; MUNIZ JUNIOR, 2014).

Em função dos hábitos da sociedade a geração de resíduos sólidos vem tomando proporções assombrosas. Os resíduos gerados nos centros urbanos, em volume crescente e composição cada vez mais diversa, constituem um risco à saúde humana e ao meio ambiente que, diariamente, encara o descarte de bilhões de toneladas de lixo derivado do consumo de produtos industrializados (LIMA; SILVA; LIMA, 2008; POLLI; SOUZA, 2013; SIQUEIRA; MARQUES, 2012).

Com a população consumindo cada vez mais, as indústrias vêm superando recordes de produção a cada ano que passa, sendo os equipamentos eletroeletrônicos (EEE) um dos principais responsáveis por isso. Tais equipamentos surgiram com o objetivo de facilitar as tarefas humanas, proporcionando conforto e praticidade em diversas aplicações e variados segmentos. Entretanto, esta evolução tecnológica está provocando grandes modificações no meio ambiente (FREITAS, 2009; NATUME; SANT'ANNA, 2011; SANT'ANA; MOURA; VEIT, 2013).

Com o rápido desenvolvimento tecnológico os milhares de produtos que surgem para facilitar a vida moderna têm um ciclo de vida cada vez menor, sendo descartados na medida em que se tornam obsoletos tecnologicamente ou quando um reparo é economicamente inviável comparado à aquisição de um novo modelo. Desta forma, ocorre

a geração de uma enorme quantidade de resíduos eletroeletrônicos (SAKAI; GOMES; BASTOS, 2009; NATUME; SANT'ANNA, 2011; SANT'ANA; MOURA; VEIT, 2013).

Os resíduos eletroeletrônicos, também chamados de resíduos tecnológicos, e-lixo ou lixo eletrônico, são todos ou quaisquer produtos de origem tecnológica que tenham chegado ao final de sua vida útil por questões de funcionalidade ou por obsolescência tecnológica. Nesta classe de resíduos incluem-se computadores e equipamentos de informática, celulares, televisores, eletrodomésticos em geral, lâmpadas, baterias e pilhas, ferramentas elétricas e muitos outros produtos que acabam sendo descartados (KASPER *et al.*, 2009; NATUME; SANT'ANNA, 2011; ALMEIDA *et al.*, 2015).

Estes resíduos eletroeletrônicos são ainda divididos em quatro grupos: linha branca – que inclui os grandes eletrodomésticos como geladeira, fogão, máquina de lavar; linha azul – os pequenos eletrodomésticos como batedeira, liquidificador, ferro de passar; linha marrom – equipamentos de áudio e vídeo como televisores, DVDs, câmeras; linha verde – equipamentos de informática e telecomunicação, que incluem celulares, computadores, impressoras, entre outros (EL FARO; CALIA; PAVAN, 2012; LIMA *et al.*, 2015).

O lixo eletrônico está entre as categorias de resíduos sólidos que cresce mais rapidamente, tanto em países desenvolvidos quanto subdesenvolvidos. Os resíduos eletroeletrônicos já representam 5% de todo o lixo gerado mundialmente, o que equivale, em média, a 50 milhões de toneladas produzidas por ano. Todavia, apenas 11% desse montante são destinados aos processos de reciclagem adequados (FERREIRA; SILVA; GALDINO, 2008; ANDRADE; FONSECA; MATTOS, 2010; EL FARO; CALIA; PAVAN, 2012; LIMA *et al.*, 2015).

Estima-se que um cidadão europeu produz, em média, 14 kg de lixo eletrônico por ano. Já no Brasil, a produção estimada é de 2,6 kg de lixo eletrônico por habitante, o que equivale a cerca de 1% da produção global de resíduos. Porém, este é um dos maiores consumos per capita entre os países emergentes, e a indústria eletrônica continua se expandindo (FERREIRA; SILVA; GALDINO, 2008; ANDRADE; FONSECA; MATTOS, 2010).

Neste cenário, ressalta-se então a importância de um manejo adequado dos resíduos eletroeletrônicos. Composto por mais de mil substâncias diferentes, entre elas chumbo, mercúrio, cádmio, arsênio e muitos outros componentes tóxicos, o lixo eletrônico quando descartado sem controle algum pode causar danos tanto na saúde humana quanto

no meio ambiente, poluindo o ar, o solo e as águas (EL FARO; CALIA; PAVAN, 2012; MOI *et al.*, 2012).

Entretanto, apesar de toda a preocupação da população e autoridades com o lixo eletroeletrônico, poucas medidas são tomadas a respeito. Percebe-se a falta de políticas tecnológicas e educacionais eficientes, e que sejam levadas a sério, para enfrentar esse desafio no Brasil (RIBEIRO; SILVA, 2012).

A LEGISLAÇÃO E O DESCARTE DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

A destinação do lixo eletrônico é um problema que está ganhando espaço nas discussões no cenário global. O descarte desses resíduos tornou-se um problema de cunho ambiental, social e tecnológico e com proporções cada vez maiores devido ao grande crescimento apresentado nos últimos anos (DEL GROSSI, 2011; LAVEZ; SOUZA; LEITE, 2011; SIQUEIRA; MARQUES, 2012).

Diante deste dilema, a problemática do lixo eletrônico também vem se destacando no âmbito do poder público, pois empresas e governos são pressionados, principalmente por organizações ecologistas, para que medidas sejam tomadas. Desta forma, vem crescendo a legislação ambiental no cenário mundial buscando a regulamentação do descarte de materiais nocivos ao meio ambiente (LEITE; LAVEZ; SOUZA, 2009; XAVIER *et al.*, 2010).

A legislação internacional referente à gestão do lixo eletroeletrônico baseia-se nas diretivas estabelecidas pela Convenção de Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito, concluída em Basileia, Suíça, em 1989. Esse acordo, que entrou em vigor em 1992, objetiva a promoção de tecnologias limpas, a redução da geração de resíduos perigosos e, seu objetivo principal, inibir o tráfico internacional desses resíduos (OLIVEIRA, 2010).

Entre as legislações relacionadas à gestão desses resíduos, duas diretrizes que se destacam internacionalmente são a WEEE (do inglês, *Waste Electrical and Electronic Equipment*) e a RoHS (*Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment*), ambas aprovadas pelo Conselho e pelo Parlamento Europeu em 2003, e desde 2006 se encontram em vigor na União Europeia (OLIVEIRA, 2010; XAVIER *et al.*, 2010).

A WEEE busca reduzir o descarte dos resíduos eletroeletrônicos, onde os estados-membros devem estabelecer um sistema de coleta seletiva, a implantação da logística reversa e reciclagem pelos fabricantes e a ampliação da responsabilidade do consumidor, que fica proibido de descartar seu lixo eletrônico no lixo comum. Já a RoHS visa inibir o uso de substâncias perigosas no processo de fabricação, entre elas chumbo, cádmio, mercúrio, cromo e retardantes de chamas, utilizando-se alternativas mais seguras. Assim, as diretrizes se complementam, pois, a substituição de substâncias tóxicas por materiais mais seguros facilita a reciclagem (OLIVEIRA, 2010; ANSANELLI, 2011).

Sendo estas diretrizes e suas exigências obrigatórias para a venda e produção de eletroeletrônicos na União Europeia, onde certificações comprovam a adequação, diversos países de diferentes regiões tem alterado sua produção para continuarem no mercado, além de muitos sancionarem legislações similares. Entre estes países pode-se citar China, Japão, Noruega, Estados Unidos, Reino Unido, entre outros (OLIVEIRA, 2010; ANSANELLI, 2011).

No Brasil, seguindo o que fora sancionado nas discussões globais, foi regulamentada pelo decreto nº 7.404 em dezembro de 2010 a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal nº 12.305/2010. Visando a gestão adequada dos resíduos sólidos, entre eles o de equipamentos eletroeletrônicos, se instituiu o conceito de responsabilidade compartilhada. Isto implica que os fabricantes, importadores, comerciantes, distribuidores, os cidadãos e o poder público devem organizar-se para realizar a gestão desses resíduos (BRASIL, 2010; NATUME; SANT'ANNA, 2011; SIQUEIRA; MARQUES, 2012; USHIZIMA; MARINS; MUNIZ JUNIOR, 2014).

Com a PNRS introduz-se então a logística reversa, o que obriga fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes a implantar programas para o gerenciamento dos seguintes resíduos: agrotóxicos e suas embalagens, pneus, pilhas e baterias, óleos lubrificantes e suas embalagens, lâmpadas e produtos eletroeletrônicos. Desta forma, se impulsiona o retorno desses resíduos às empresas, que realizam a destinação ambiental adequada (BRASIL, 2010; NATUME; SANT'ANNA, 2011; LIMA *et al.*, 2015).

Em relação a pilhas e baterias, tem-se a Resolução CONAMA nº 401/2008 onde se estabelece limites máximos de cádmio, chumbo e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território brasileiro, além de estabelecer critérios para a disposição final ambientalmente correta. Por motivos de atualização, foi revogada então a Resolução

CONAMA nº257/1999. Todavia, as pilhas e baterias usadas ou inservíveis, após a coleta em pontos comerciais ou de assistência técnica autorizada, devem ser encaminhadas para a destinação ambiental adequada, que continua sendo de responsabilidade dos fabricantes ou importadores (BRASIL, 1999; BRASIL, 2008).

Entretanto, nota-se que a medida se aplica apenas para pilhas e baterias, não abordando os demais eletroeletrônicos. Ou seja, ainda não há no Brasil legislação específica ou acordos setoriais regulamentando a responsabilidade pela disposição final de lâmpadas, computadores, celulares e os muitos outros eletroeletrônicos (RIBEIRO; SILVA, 2012; ALMEIDA *et al.*, 2015).

Alguns Estados brasileiros, como é o caso de Maranhão, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Mato Grosso, Rio Grande do Sul e Pernambuco, apresentam leis estaduais que tratam exclusivamente sobre a gestão e tratamento dos resíduos eletroeletrônicos que, em geral, são de responsabilidade compartilhada conforme estipula a PNRS. Porém, evidencia-se que ainda não há uma classificação ou definição única do que são os resíduos eletroeletrônicos (USHIZIMA; MARINS; MUNIZ JUNIOR, 2014).

Essa falta de legislação apropriada, a baixa conscientização da população, a complexidade e o custo da logística reversa, a ausência de fiscalização e de programas de educação ambiental são questões importantes que ainda precisam ser enfrentadas (RIBEIRO; SILVA, 2012; ALMEIDA *et al.*, 2015).

Constata-se então que ainda existe um lapso em respeito ao pós-consumo dos resíduos eletroeletrônicos no Brasil. Observa-se a falta de empresas especializadas na gestão desses resíduos e, também, a inércia do mercado secundário destes materiais. Além disso, boa parte de empresas do mercado de reciclagem de eletroeletrônicos atuam na informalidade, utilizando-se de mão de obra precária e ignorando normas de segurança do trabalho e ambientais (NATUME; SANT'ANNA, 2011; ALMEIDA *et al.*, 2015).

A falta de tecnologia para a reciclagem destes materiais no Brasil, além do descaso com o assunto por parte das indústrias e dos governantes, demonstra a falta de estratégia para lidar com a questão do lixo eletrônico. Como resultado tem-se o descarte inadequado desses resíduos como resíduos urbanos comuns, o que acaba gerando graves problemas sociais e ambientais (NATUME; SANT'ANNA, 2011; ALMEIDA *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2015).

IMPACTOS AMBIENTAIS DO DESCARTE DO LIXO ELETROELETRÔNICO

O lixo eletrônico é um dos mais nocivos ao meio ambiente. Apesar do impacto ambiental dos eletroeletrônicos se iniciar já no processo de fabricação, onde são consumidas altas quantidades de água, energia e inúmeras substâncias químicas, é no fim de sua vida útil que o problema torna-se mais evidente. Com a produção de bilhões de unidades anualmente, tal quantidade se descartada incorretamente pode causar grande impacto ambiental, afetando o ar, o solo e os recursos hídricos (ACOSTA; WEGNER; PADULA, 2008; VIEIRA; SOARES; SOARES, 2009).

Quando descartado em locais inadequados e sem tratamento, como em lixões ou aterros, ou se incinerado, o lixo eletrônico traz sérios riscos para a saúde humana e o meio ambiente. Com composição bastante diversificada, esses resíduos são compostos principalmente de plásticos, metais ferrosos e não ferrosos, vidro, madeira e cerâmicas, sendo possível encontrar mais de mil substâncias diferentes. Entre elas encontram-se elementos químicos extremamente nocivos como os metais pesados mercúrio, chumbo, cádmio, arsênio, cromo e outros, presentes principalmente em placas de circuito impresso de computadores e vários outros eletroeletrônicos (OLIVEIRA, 2010; GERBASE; OLIVEIRA, 2012; SIQUEIRA; MARQUES, 2012; SANTOS *et al.*, 2014).

São encontrados também muitos metais raros e preciosos como ouro, prata, platina, paládio, tálio, berílio, gálio, zinco e índio, que se reciclados teriam sua extração da natureza reduzida. Como ocorrem em pequenas concentrações nos minérios em que são extraídos, são necessários grandes volumes de terra na mineração. Neste processo, há também a produção de efluentes tóxicos que podem contaminar o solo e corpos d'água, além de alta emissão de gás carbônico (CO₂) e de dióxido de enxofre (SO₂) que intensificam o efeito estufa e a ocorrência de chuva ácida. Além disso, estudos descobriram que o lixo eletrônico possui mais metais raros e nobres do que as típicas minas de metais. (RODRIGUES, 2007; SIQUEIRA; MARQUES, 2012; ZHANG; SCHNOOR; ZENG, 2012).

Atualmente sabe-se que grande parte dos resíduos advindos da sucata eletroeletrônica é reciclável. Como exemplo tem-se o ouro, o cobre, o ferro, o alumínio, e vários outros materiais, que podem ser reinseridos na cadeia produtiva. No caso do cobre, a cada 1 tonelada de lixo eletrônico pode-se obter até 0,2 toneladas do mesmo, que, depois de reciclado, não sofre alterações em suas propriedades. Ou seja, a reciclagem do lixo

eletrônico pode, ao menos parcialmente, suprir a demanda global por metais, especialmente em regiões com escassez de recursos. Entretanto, são poucos os países que dominam a tecnologia necessária para a separação e reaproveitamento desses materiais (CALVÃO *et al.*, 2009; SIQUEIRA; MARQUES, 2012; ZHANG; SCHNOOR; ZENG, 2012).

Além disto, a aplicação de leis rigorosas tem elevado o custo de tratamento do lixo eletrônico em países desenvolvidos, o que acaba estimulando a exportação desses resíduos para países em desenvolvimento como China, Índia e Paquistão. Com mão de obra barata e sem tecnologia adequada, trabalhadores se expõem a substâncias danosas a saúde buscando lucro na recuperação de materiais nobres. Após a separação dos materiais de valor o restante é descartado, formando-se montanhas de lixo eletrônico não tratado exposto ao ar livre. Assim, há a possibilidade de que os metais pesados presentes como chumbo, manganês, níquel, mercúrio, cádmio e outros, sejam lixiviados, contaminando o solo e o lençol freático (CALVÃO *et al.*, 2009; NI; ZENG, 2009; ZHANG; SCHNOOR; ZENG, 2012; KEMERICH *et al.*, 2013).

Apesar de o solo possuir grande capacidade de retenção de metais pesados, quando essa capacidade é ultrapassada, os metais disponíveis no meio acabam sendo lixiviados. Deste modo, compromete-se a qualidade das águas superficiais e dos lençóis subterrâneos, causando assim impactos na saúde biótica dos ecossistemas e dos seres vivos através da bioacumulação destes metais. Consequentemente, em alguns países da Ásia, África e da América do Sul, o elevado nível de poluição causada por estes resíduos tem despertado a preocupação de governos e órgãos ambientais (ANDRADE; FONSECA; MATTOS, 2010; GERBASE; OLIVEIRA, 2012; ALMEIDA *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2015).

A China, o segundo maior produtor de lixo eletrônico do mundo, e atualmente considerada a capital global da reciclagem destes resíduos, tem enfrentado crescentes problemas nos últimos anos. Apesar da Convenção de Basiléia proibir o tráfico internacional de resíduos perigosos, estima-se que 70% do lixo eletrônico gerado no mundo é exportado para o país todos os anos. Como resultado, uma grande quantidade de químicos tóxicos, nocivos ao meio ambiente e a saúde humana, é liberada no tratamento destes resíduos (NI; ZENG, 2009; NI *et al.*, 2010; ZHANG; SCHNOOR; ZENG, 2012; KAMEOKA, 2015; MEDEIROS, 2015).

Em Guiyu, cidade chinesa localizada na Província de Guangdong, tem-se um dos maiores e mais conhecidos centros de reciclagem de lixo eletrônico do mundo. Porém, seus

processos são considerados primitivos, com técnicas rústicas e inseguras como queima, derretimento e banhos ácidos, realizadas intensamente em depósitos a céu aberto sem nenhuma infraestrutura básica e sem condições mínimas de higiene e segurança do trabalho. Conseqüentemente, os moradores de Guiyu não podem mais utilizar a água da própria cidade, considerada imprópria para consumo devido à contaminação por metais pesados, sendo necessário recorrer a cidades vizinhas (FU *et al.*, 2008; XIEZHI *et al.*, 2008; NI; ZENG, 2009; NI *et al.*, 2010; EL FARO; CALIA; PAVAN, 2012; ZHANG; SCHNOOR; ZENG, 2012; KAMEOKA, 2015).

Além do impacto causado pelos metais pesados, Guiyu tem a maior concentração de dioxinas já avaliada. As dioxinas e furanos podem ser liberadas no meio ambiente em processos de combustão incompleta como, por exemplo, a queima de fios para se recuperar o cobre. Como o lixo eletrônico possui uma quantidade significativa de bromo (dos retardantes de chama bromados) e cloro (principalmente do PVC e outros plastificantes), uma mistura de compostos halogenados clorados e bromados é formada no tratamento térmico destes resíduos. Assim, estes poluentes orgânicos persistentes (POPs) são formados e emitidos para o ar, solo e águas (FREIRE *et al.*, 2000; KRIKKE *et al.*, 2008; XIEZHI *et al.*, 2008; GERBASE; OLIVEIRA, 2012; ZHANG; SCHNOOR; ZENG, 2012).

Esta situação exige uma melhoria urgente nas práticas de reciclagem do lixo eletrônico em países em desenvolvimento. Adicionalmente, medidas de remediação apropriadas devem ser avaliadas e iniciadas. Essa degradação ambiental, causada pelos processos primitivos de tratamento do lixo eletrônico, tem impactos significativos na qualidade ambiental aquática e na saúde dos trabalhadores e residentes locais. Assim, torna-se importante implementar estratégias para minimizar a produção destes resíduos e tornar seus componentes mais facilmente recicláveis e reutilizáveis (HUO *et al.*, 2007; WONG *et al.*, 2007; XIEZHI *et al.*, 2008).

LOGÍSTICA REVERSA COMO ALTERNATIVA

Devido ao seu grande potencial de contaminação ambiental, é necessário a implantação de sistemas para a gestão e disposição final do lixo eletrônico, para que se possa evitar ou reduzir seus impactos no meio ambiente. Entre as alternativas possíveis, a

logística reversa (LR) destes resíduos pode ser a mais adequada (ROCHA; CERETTA; CARVALHO, 2010; FERREIRA JUNIOR, 2013).

A logística reversa trata-se da gestão do ciclo inverso dos materiais, ou seja, consiste na coleta e transporte dos produtos utilizados, danificados ou sem uso, partindo do consumidor e retornando ao fornecedor, com o objetivo de realizar o descarte e tratamento adequado, e também reagregar valor (ROCHA; CERETTA; CARVALHO, 2010; LIMA *et al.*, 2015).

A importância do retorno destes resíduos tem crescido, e as empresas ganham a oportunidade de associar sua marca como uma organização que se preocupa com o meio ambiente. Assim, a logística reversa contribui com a atenuação dos impactos ambientais causados pelos REEE, além de possibilitar o ganho de eficiência e sustentabilidade nas operações das empresas (LAVEZ; SOUZA; LEITE, 2011; FREITAS; FREITAS, 2014).

Neste contexto, a logística reversa, com o advento das legislações, implica em grande impacto nas atividades de produção, pois, a obrigação de se estabelecer programas de retorno dos produtos objetiva o fechamento do ciclo da cadeia de suprimentos e a integração de todos os setores da organização envolvidos com o produto. Ou seja, a LR vem para resolver o paradigma entre desenvolvimento e sustentabilidade econômica (RODRIGUES, 2007; YURA, 2014).

Contudo, a gestão do lixo eletrônico no Brasil ainda não está bem equacionada, sobretudo por se tratar de produtos pós-consumo de características complexas. Além disso, a realização de projetos de LR tem vários desafios devido ao fato de que suas atividades envolvem governo, indústrias, distribuidores e os consumidores (OLIVEIRA, 2010; LIMA *et al.*, 2015).

Entre os problemas encontrados pode-se citar, por exemplo, a LR ser considerada uma atividade de alto custo, a dificuldade de se quantificar o retorno dos produtos, a carência de normas reguladoras sobre procedimentos de descarte e recuperação, e a falta de campanhas de conscientização para informar e incentivar os consumidores sobre a destinação correta dos REEE (USHIZIMA; MARINS; MUNIZ JUNIOR, 2014; LIMA *et al.*, 2015).

Dentro dessa estrutura de gestão, ressalta-se então a importância das responsabilidades específicas, e igualmente relevantes, de cada um dos setores envolvidos na gestão dos REEE. Pois, mesmo que as empresas estruturem um sistema de LR eficiente,

se os consumidores não entregarem seus resíduos nos pontos de coleta apropriados não haverá resultados, sendo o inverso também verdadeiro (MOI *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2015).

Destaca-se também que nem todos os fabricantes se responsabilizam pela destinação final de seus produtos. Ademais, a quantidade de empresas especializadas na reciclagem de REEE no Brasil também é baixa. Plásticos, madeira e vidros são reciclados no país, mas a completa reciclagem do lixo eletrônico ainda não ocorre, com a exceção de materiais de valor como aço ou cobre. Assim, resíduos mais complexos, como as placas de circuito impresso, são triturados e exportados para países como Bélgica, Canadá e Cingapura, onde se realiza o refino de metais (OLIVEIRA, 2010; FERREIRA JUNIOR, 2013).

Esses processos de reciclagem apenas de resíduos ou de seus constituintes que apresentam valor econômico parecem ser uma solução atraente para a gestão dos REEE, tanto por motivos ambientais como econômicos. Entretanto, trata-se de um método não sustentável, pois o interesse apenas por partes facilmente separáveis pode fazer com que o restante seja considerado como rejeito e descartado de forma insegura (RODRIGUES, 2007; FERREIRA JUNIOR, 2013).

Assim sendo, a LR deve incorporar as várias alternativas e ações relativas ao aproveitamento e reincorporação de partes ou materiais que constituem os produtos pós-consumo, partindo desde uma infraestrutura de coleta, processos de desmontagem, separação, beneficiamento, até a disposição final adequada dos materiais não absorvidos pelo mercado (RODRIGUES, 2007).

Deste modo, a implantação efetiva da LR nos diversos setores industriais do país propiciaria um adequado gerenciamento dos resíduos sólidos, além da melhoria das condições ambientais e qualidade de vida (YURA, 2014).

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho realizou-se uma pesquisa bibliográfica, onde se coletaram dados sobre os referidos assuntos em periódicos e publicações eletrônicas, teses, livros, dissertações e outras publicações científicas impressas ou digitais. As buscas foram realizadas nas bases SciELO, Portal de Periódicos da Capes e com o auxílio da ferramenta Google Scholar. Foram utilizados os seguintes descritores: lixo eletrônico, recursos hídricos e poluição das águas. Selecionaram-se então os artigos que

estabelecessem alguma relação com o tema proposto para este trabalho, para que se pudesse conhecer a situação atual da geração de lixo eletrônico, a legislação que envolve a gestão destes resíduos, os impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado, e quais seriam as alternativas possíveis para evitar esses impactos, principalmente para a preservação dos recursos hídricos. Ao todo foram consultados 52 títulos, entre artigos, dissertações, leis e resoluções relacionadas ao tema, publicados entre os anos de 1999 e 2015. Os trabalhos consultados identificaram diversas situações alarmantes como contaminação das águas, do solo, emissões atmosféricas, danos à saúde humana, legislação inadequada e ineficiente, falta de tecnologia adequada para reciclagem, e outras mais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A eficiente gestão dos resíduos sólidos é de suma importância para que se possam evitar impactos ambientais, sobretudo quando se trata de produtos mais complexos como os REEE, que são constituídos de várias substâncias com alto potencial de contaminação. Entretanto, ainda faltam incentivos por parte do poder público referente à legislação e fiscalização. Com a falta de uma legislação clara, seja por meio de resoluções ou acordos setoriais, percebe-se que o Brasil ainda não tem estratégia para lidar com o lixo eletrônico.

Tendo em vista o montante de REEE gerados, a baixa conscientização dos consumidores, uma legislação que deixa brechas, e a falta de incentivo por parte do governo, torna-se necessário tomar medidas para que se possa evitar que o Brasil siga o caminho dos países emergentes asiáticos e preserve seus recursos hídricos. Não apenas os recursos hídricos, mas o meio ambiente como um todo que sofre com os impactos do descarte inadequado desses resíduos. Além disso, a saúde da população é conseqüentemente afetada com a exposição aos poluentes oriundos do lixo eletrônico, que podem causar danos irreversíveis.

Uma das alternativas mais adequadas para que se possam reduzir esses impactos é a logística reversa que, em condições ideais, contribuiria com a eficiente gestão dos REEE. Porém, sua implantação também enfrenta dificuldades. Assim, percebe-se que há vários pontos a serem corrigidos para que se possa chegar a uma gestão eficiente do lixo eletrônico, evitando seu descarte inadequado e os seus impactos ambientais. Para isso, são

necessários mais estudos acerca do tema que ainda é pouco discutido, mas que tem enorme relevância.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, B.; WEGNER, D.; PADULA, A. D. Logística reversa como mecanismo para redução do impacto ambiental originado pelo lixo informático. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa**, v. 7, n. 1, p. 1-12, 2008.

ALMEIDA, M. A.; PAPANDREA, P. J.; CARNEVALI, M.; ANDRADE, A. X.; CORREA, F. P. V.; ANDRADE, M. R. M. Destinação do lixo eletrônico: impactos ambientais causados pelos resíduos tecnológicos. **Revista Científica e-Locução**, v. 1, n. 7, p. 56-72, 2015.

ANDRADE, R. T. G.; FONSECA, C. S. M.; MATTOS, K. M. C. Geração e destino dos resíduos eletrônicos de informática nas instituições de ensino superior de Natal-RN. **HOLOS**, v. 2, n. 1, p. 100-112, 2010.

ANSANELLI, S. L. M. Exigências ambientais europeias: novos desafios competitivos para o complexo eletrônico brasileiro. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 10, n. 1, p.129-160, 2011.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 25 fev. 2018.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 257, de 30 de junho de 1999**. Estabelece que pilhas e baterias que contenham em suas composições chumbo, cádmio, mercúrio, e seus compostos, tenham os procedimentos de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final ambientalmente adequados. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=257>>. Acesso em: 25 fev. 2018.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 401, de 4 de novembro de 2008**. Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=589>>. Acesso em: 25 fev. 2018.

CALVÃO, A. M.; ROSE, D. E.; RIBEIRO, D. S.; D'ALMEIDA, M. H. B.; ALMEIDA, R. L.; LIMA, R. L. O lixo computacional na sociedade contemporânea. **I ENINED – Encontro Nacional de Informática e Educação**, p. 262-269, 2009.

DEL GROSSI, A. C. Destinação dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) em Londrina-PR. **II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, p. 1-11, 2011.

EL FARO, O.; CALIA, R. C.; PAVAN, V. H. G. A logística reversa do lixo eletrônico: um estudo sobre a coleta do e-lixo em uma importante universidade brasileira. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 142-153, 2012.

FERREIRA, D. C.; SILVA, J. B.; GALDINO, J. C. S. Reciclagem do e-lixo (ou lixo eletrônico), 2008.

FERREIRA JUNIOR, O. L. **Processos de separação de materiais metálicos e não metálicos na reciclagem de resíduos de placas de circuito impresso de microcomputadores**. 2013. 108 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo.

FREIRE, R. S.; PELEGRINI, R.; KUBOTA, L. T.; DURÁN, N.; PERALTA-ZAMORA, P. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química Nova**, v. 23, n. 4, p. 504-511, 2000.

FREITAS, E. S. C.; FREITAS, M. P. Lixo eletrônico: um desafio para a logística reversa e o desenvolvimento sustentável. 2014.

FREITAS, M. C. B. Lixo tecnológico e os impactos no meio ambiente. **Revista Network**, 2009.

FU, J.; ZHOU, Q.; LIU, J.; LIU, W.; WANG, T.; ZHANG, Q.; JIANG, G. 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**, v. 71, n. 7, p. 1269-1275, 2008.

GERBASE, A. E.; OLIVEIRA, C. R. Reciclagem do lixo informático: uma oportunidade para a química. **Química Nova**, v. 35, n. 7, p. 1486-1492, 2012.

HUO, X.; PENG, L.; XU, X.; ZHENG, L.; QIU, B.; QI, Z.; ZHANG, B.; HAN, D.; PIAO, Z. Elevated blood lead levels of children in Guiyu, an electronic waste recycling town in China. **Environmental Health Perspectives**, v. 115, n. 7, p. 1113-1117, 2007.

KAMEOKA, F. **Reciclagem de resíduos eletroeletrônicos: um estudo cinético da lixiviação ácida de ferro de placas de circuito impresso de microcomputadores**. 2015. 138 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo.

KASPER, A. C.; COSTA, R. C.; ANDRADE, P. A.; VEIT, H. M.; BERNARDES, A. M. Caracterização de sucatas eletrônicas provenientes de baterias recarregáveis de íons de lítio, telefones celulares e monitores de tubos de raios catódicos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 1, n. 12, p. 9-17, 2009.

KEMERICH, P. D. C.; MENDES, S. A.; VORPAGEL, T. H.; PIOVESAN, M. Impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada de lixo eletrônico no solo. **Engenharia Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 208-219, 2013.

KRIKKE, J. Recycling e-waste: the sky is the limit. **IT Pro**, v. 10, n. 1, p. 50-55, 2008.

LAVEZ, N.; SOUZA, V. M.; LEITE, P. R. O papel da logística reversa no reaproveitamento do “lixo eletrônico” – um estudo no setor de computadores. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 15-32, 2011.

LEITE, P. R.; LAVEZ, N.; SOUZA, V. M. Fatores da logística reversa que influem no reaproveitamento do “lixo eletrônico” – um estudo no setor de informática. **XII Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais**, 2009.

LIMA, A. F. O.; SABIÁ, R. J.; TEIXEIRA, R. N. P.; SOBREIRA JÚNIOR, F. A. V. Gestão de resíduos eletroeletrônicos e seus impactos na poluição ambiental. **Latin American Journal of Business Management**, v. 6, n. 2, p. 109-126, 2015.

LIMA, M. L. M.; SILVA, J. B.; LIMA, J. E. Manufatura reversa e o gerenciamento adequado do lixo eletrônico. **IX Seminário Nacional de Resíduos Sólidos**, 2008.

MACIEL, A. C. Lixo eletrônico. **Anais do Seminário ENIAC**, v. 1, n. 2, 2011.

MEDEIROS, N. M. **Caracterização e separação física de placas de circuito impresso de computadores obsoletos**. 2015. 82 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

MOI, P. C. P.; SOUZA, A. P. S.; OLIVEIRA, M. M.; FAITTA, A. C. J.; REZENDE, W. B.; MOI, G. P.; FREIRE, F. A. L. Lixo eletrônico: consequências e possíveis soluções. **Connection Line**, v. 1, n. 7, p. 37-45, 2012.

NI, H.; ZENG, E. Y. Law enforcement and global collaboration are the Keys to containing e-waste tsunami in China. **Environmental Science & Technology**, v. 43, n. 11, p. 3991-3994, 2009.

NI, H.; ZENG, H.; TAO, S.; ZENG, E. Y. Environmental and human exposure to persistente halogenated compounds derived from e-waste in China. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 29, n. 6, p. 1237-1247, 2010.

NATUME, R. Y.; SANT’ANNA, F. S. P. Resíduos eletroeletrônicos: um desafio para o desenvolvimento sustentável e a nova lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **3rd International Workshop on Advances in Cleaner Production**, 2011.

OLIVEIRA, C. R. **Alternativas tecnológicas para o tratamento e reciclagem do lixo de informática**. 2010. 65 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Química Industrial). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PEREIRA, F. A. M.; FERRAZ, S. B.; MASSAINI, I. A. Dimensões de consciência dos consumidores no processo de reciclagem do lixo eletrônico (e-waste). **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 14, n. 3, p. 177-202, 2014.

POLLI, F. G.; SOUZA, A. A. Relação de consumo e meio ambiente: proposta de responsabilização efetiva das fabricantes e comerciantes de bens e serviços pelo

recolhimento dos resíduos sólidos dos produtos comercializados. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, v. 8, n. 1, p. 185-194, 2013.

REZENDE, H. G.; FERREIRA, J. S.; CELINSKI, T. M.; CELINSKI, V. G. Museu da computação: o resíduo eletrônico e a responsabilidade social e ambiental. **Encontro Conversando sobre Extensão na UEPG**, v. 9, 2011.

RIBEIRO, F. D.; SILVA, J. S. Lixo eletrônico: estudo sobre a situação do lixo eletroeletrônico na cidade de Uruaçu. **Fasem Ciências**, v. 2, n. 2, p. 61-81, 2012.

ROCHA, A. C.; CERETTA, G. F.; CARVALHO, A. P. Lixo eletrônico: um desafio para a gestão ambiental. **Technoeng**, v. 1, n. 2, p. 35-49, 2010.

RODRIGUES, A. C. **Impactos socioambientais dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos**: estudo da cadeia pós-consumo no Brasil. 2007. 321 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara D'Oeste.

SAKAI, P. K.; GOMES, M. L.; BASTOS, C. E. Logística reversa e produtos eletrônicos: um estudo de caso no mercado de telefonia celular. **Reverte – Revista de Estudos e Reflexões Tecnológicas da Faculdade de Indaiatuba**, v. 1, n. 7, 2009.

SANT'ANNA, H. B. S.; MOURA, F. J.; VEIT, H. M. Caracterização físico-química de placas de circuito impresso de aparelhos de telefone celular. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 10, n. 3, p. 231-238, 2013.

SANTOS, D. T.; DIAS, G. M.; SANTOS, R. P. A.; SILVA, U. B.; PAULA, V. V. Estratégias de gestão no destino do lixo tecnológico: um caso de implantação de um ecoponto na UNIGRANRIO. **Blucher Marine Engineering Proceedings**, v. 1, n. 1, p. 780-791, 2014.

SELPIS, A. N.; CASTILHO, R. O.; ARAÚJO, J. A. B. Logística reversa de resíduos eletroeletrônicos. **Tékne & Lógos**, v. 3, n. 2, p. 111-128, 2012.

SEO, E. S. M., FINGERMAN, N. N. Sustentabilidade na gestão de resíduos sólidos: panorama do segmento eletroeletrônicos. **InterfacEHS – Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 6, n. 3, p. 3-15, 2011.

SIQUEIRA, V. S.; MARQUES, D. H. F. Gestão e descarte de resíduos eletrônicos em Belo Horizonte: algumas considerações. **Caminhos de Geografia**, v. 13, n. 43, p. 174-187, 2012.

USHIZIMA, M. M.; MARINS, F. A. S.; MUNIZ JUNIOR, J. Política Nacional de Resíduos Sólidos: cenário da legislação brasileira com foco nos resíduos eletroeletrônicos. **XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, 2014.

VIEIRA, K. N.; SOARES, T. O. R.; SOARES, L. R. A logística reversa do lixo tecnológico: um estudo sobre o projeto de coleta de lâmpadas, pilhas e baterias da Braskem. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 120-136, 2009.

WONG, C. S. C.; WU, S. C.; DUZGOREN-AYDIN, N. S.; WONG, M. H. Trace metal contamination of sediments in an e-waste processing village in China. **Environmental Pollution**, v. 145, n. 2, p. 434-442, 2007.

XAVIER, L. H.; LUCENA, L. C.; COSTA, M. D.; XAVIER, V. A.; CARDOSO, R. S. Gestão de resíduos eletroeletrônicos: mapeamento da logística reversa de computadores e componentes no Brasil. **3º Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Resíduos**, 2010.

XIEZHI, Y.; MARKUS, Z.; MAGNUS, E.; ANNA, R.; MARIA, L.; HUNG, W. M.; ROLAND, W. E-waste recycling heavily contaminates a chinese city with chlorinated, brominated and mixed halogenated dioxins. **Organohalogen Compounds**, v. 70, n.1, p. 813-816, 2008.

YURA, E. T. F. **Processo de implantação dos sistemas de logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos previstos na Política Nacional de Resíduos Sólidos: uma visão dos gestores**. 2014. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo.

ZHANG, K.; SCHNOOR, J. L.; ZENG, E. Y. E-waste recycling: where does it go from here? **Environmental Science & Technology**, v. 46, n. 1, p. 10861-10867, 2012.