UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ANDRESSA SIEGLE TRIGO GOMES

CARACTERIZAÇÃO DE CARTUCHOS DE TINTA DE IMPRESSORA USADOS QUANTO A PERICULOSIDADE

VITÓRIA
2017

ANDRESSA SIEGLE TRIGO GOMES

CARACTERIZAÇÃO DE CARTUCHOS DE TINTA DE IMPRESSORA USADOS QUANTO A PERICULOSIDADE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.
Orientadora: Prof.ª Dr.ª Luciana Harue Yamane
Co-orientador: Prof. Dr. Renato Ribeiro Siman

VITÓRIA

2017

AGRADECIMENTOS

À minha família, por todo incentivo e apoio durante essa fase da minha vida.

Ao Mario, pelo amor, companheirismo, incentivo e paciência nesses anos de engenharia.

À minha professora orientadora, Luciana Harue Yamane, por todos os seus valorosos ensinamentos e oportunidades de crescimento profissional nesse ano de trabalho.

Ao meu co-orientador, Renato Ribeiro Siman, pelos ensinamentos.

Aos meus amigos da UFES, por compartilharem durante esses 5 anos de engenharia, momentos de aflição e principalmente de felicidade. Em especial aos meus amigos, Brunella, Brenda, Gessica, Laís, Lucas, Monique e Thais, sem vocês nada seria possível. E a Luiza por ter iniciado esse trabalho junto comigo.

Ao grupo de pesquisa do Lacar, à professora Geilma Lima Vieira e aos funcionários do Lemac, por toda ajuda e apoio.

À professora Maria Tereza, pelo apoio e auxilio com equipamentos do LabPetro e por aceitar fazer parte da banca examinadora.

À professora Eliana Zandonade pelo apoio na elaboração da metodologia do trabalho.

Aos professores da Engenharia Ambiental, por nos incentivarem a ir além.

À todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A geração de resíduos eletroeletrônicos (REEE) está associada ao crescimento da população, a evolução econômica e a rápida urbanização. Os REEE se descartados e manuseados incorretamente podem contaminar o meio ambiente e causar problemas à saúde humana. Os equipamentos eletroeletrônicos podem apresentar até 60 tipos de elementos diferentes, sendo alguns valiosos e outros perigosos. Em função do extensivo uso de cartuchos de tinta de impressoras, sua contínua geração, acúmulo e/ou descarte incorreto, e ainda, da possibilidade de vazamentos da tinta residual, faz-se necessário classificar a periculosidade dos cartuchos usados visando o gerenciamento adequado. Os cartuchos de tinta de impressora usados foram coletados na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e em lojas de recargas de cartuchos e toners. Foram utilizados 9 lotes diferentes de cartuchos da marca HP. Estes foram analisados separadamente seguindo o procedimento descrito na ABNT NBR 10.005, com o intuito de avaliar o descarte do cartucho em relação ao vazamento do resíduo de tinta, e por ser inviável a moagem do cartucho, o procedimento foi realizado com o cartucho inteiro. Assim, foi possível simular o que acontece quando estes são encaminhados para sua destinação final (ainda que irregular, como o descarte em locais irregulares), com isso alguns procedimentos descritos na norma foram adaptados. Análises de espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) foram utilizadas para quantificar os metais (As, Ba, Cd, Pb, Cr, Ag, Se) presentes no extrato lixiviado dos cartuchos de tinta inteiros. Com base nos resultados das análises de ICP OES, os lotes de tinta foram classificados de acordo com a ABNT NBR 10.004, que estabelece o limite máximo de metais no extrato lixiviado. A análise mostrou que todos os metais analisados estão abaixo do limite disposto na NBR 10.004, com isso os cartuchos de tinta de impressora usados analisados, de acordo com a metodologia descrita no presente estudo, é classificado como resíduo não perigoso.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Concentrações dos elementos determinadas por ICP-MS nas tintas para serigrafia e esmalte. 43
Figura 2: Concentrações dos elementos determinadas por ICP-MS em tintas para tatuagem; 44
Figura 3: Lotes de cartuchos de tinta de impressoras usados utilizados nos ensaios de lixiviação. 46
Figura 4: Agitador Rotatório utilizado no ensaio de lixiviação segundo a NBR 10.005. 49
Figura 5: Solução extratora com cartuchos de tinta de impressoras inteiros, do lote 1, antes e depois do ensaio de lixiviação. 54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos gerada no mundo e previsão de geração até 2018. 22
Tabela 2: Estimativa de geração anual média (total e per capita) de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, por cenário, São Paulo, 2006/2010. 24
Tabela 3: Quantidade de materiais recuperáveis presentes em resíduos de equipamentos eletroeletrônicos..... 27
Tabela 4: Componentes perigosos em resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. 28
Tabela 5: Classificação de aditivos baseados nos efeitos na saúde e meio ambiente..... 29
Tabela 6: Substâncias presentes no REEE, vias de contaminação e efeitos à saúde. 31
Tabela 7: Composição média de uma placa de circuito impresso..... 34
Tabela 8: Descrição dos lotes de cartuchos de tinta de impressora utilizados no ensaio de lixiviação. 45
Tabela 9: Concentração máxima de metais no extrato obtido no ensaio de lixiviação..... 50
Tabela 10: Concentração (mg/L) de elementos traço obtidas por ICP OES. Onde LD e LQ equivalem ao limite de detecção e quantificação do método, respectivamente. 51

LISTA DE SIGLAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica

ABNT – Associação Brasileira De Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública

EEE - Equipamentos Eletroeletrônicos

HP – Hewlett-Parckard

ICP OES - Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado

ICP-MS - Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado

LACAR – Laboratório de Caracterização Ambiental de Resíduos

LCD – Liquid Crystal Display

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

PCI – Placa De Circuito Impresso

PNRS – Política Nacional De Resíduos Sólidos

REEE – Resíduos Rletroeletrônicos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

StEP – Solving the E-Waste Problem

SUMÁRIO

1. Introdução 8

2. Objetivos 11

2.1. Objetivo geral 11

2.2. Objetivos específicos 11

3. Revisão Bibliográfica 12

3.1. Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos e a Associação Brasileira de Normas Técnicas 12

3.2. Legislação brasileira relacionada aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos 14

3.3. Legislação internacional relacionada aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos 18

3.4. Geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos 21

3.5. Classificação de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos 24

3.6. Composição de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos 26

3.7. Aspectos sociais relacionados aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos 29

3.7.1. Impactos à saúde do trabalhador 30

3.8. Aspectos econômicos relacionados aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos 32

3.8.1. Reciclagem de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil e no Mundo 33

3.9. Aspectos ambientais relacionados aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos 35

3.9.1. Consumo de matéria-prima pela indústria eletroeletrônica 35

3.9.2. Destinação final de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos 36

3.9.3. Contaminação hídrica por resíduos de equipamentos eletroeletrônicos 37

3.9.4. Contaminação atmosférica por resíduos de equipamentos eletroeletrônicos 38

3.9.5. Contaminação do solo por resíduos de equipamentos eletroeletrônicos 39

3.9.6. Cartuchos de tinta de impressora 39

4. Materiais e métodos 45

4.1. Cartuchos de tinta de impressora usados 45

4.2. Caracterização ambiental dos cartuchos de tinta de impressora usados segundo a NBR 10.005 46

4.2.1. Procedimento de descontaminação de vidrarias 47
4.2.2. Determinação da solução de extração 48
4.2.3. Ensaio de Lixiviação segundo a NBR 10.005 48
4.3. Classificação dos cartuchos de tinta usados quanto à periculosidade 50
5. Resultados e Discussões 51
5.1. Caracterização ambiental dos cartuchos de tinta de impressora usados segundo a NBR 10.005 e classificação quanto à periculosidade 51
5.1.1. Processamento físico dos cartuchos de tinta de impressora usados 53
5.1.2. Logística reversa dos cartuchos de impressora usados 57
5.1.3. Reciclagem de cartuchos de impressora usados 57
6. Conclusão 59
7. Referências 61
8. Apêndice A 69

1. Introdução

O crescimento da população, a evolução econômica e a rápida urbanização aceleram a geração de resíduos sólidos (GOUVEIA, 2012). Atualmente, são mais de 206 milhões de brasileiros (IBGE, 2016), cuja geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) em 2014 foi de aproximadamente 78,6 milhões de toneladas, o que representa um aumento de 2,9% em relação a 2013 (ABRELPE, 2014).

Dentro da geração de RSU destacam-se os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE). Segundo Rodrigues (2012), o setor da indústria eletroeletrônica ilustra a rápida dinâmica de produção, devido ao crescimento do consumo e consequente geração de resíduos sólidos. Isso ocorre não só devido ao rápido desenvolvimento tecnológico e à expansão do mercado, mas principalmente devido à tendência do encurtamento do tempo de vida útil dos equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE), designada obsolescência programada ou planejada, e à geração de crescentes volumes de REEE, que em combinação com sua complexa composição, implica em dificuldades para seu tratamento (RODRIGUES, 2012).

A acelerada revolução tecnológica dos últimos anos produziu equipamentos em larga escala com variadas utilidades, propiciando um aumento na quantidade e diversidade de equipamentos eletroeletrônicos (NATUME, SANT'ANNA, 2011). Alguns dos EEE citados por Pinheiro *et al.* (2009) são geladeiras, fogões, aspiradores, secadores de cabelo, televisão, DVD, jogos de vídeo, equipamentos de medicina, distribuidores automáticos, computadores, *latptop*, telefones celulares, impressoras, etc. Cartuchos de tinta de impressora e toners também fazem parte deste segmento e merecem atenção devido ao seu consumo e potencial poluidor (CIROTO, 2013).

Os equipamentos eletroeletrônicos podem apresentar até 60 tipos de elementos diferentes, sendo alguns valiosos e outros perigosos (StEP, 2009). Segundo Park & Fray (2008), os metais que são encontrados no REEE incluem cobre, ferro, níquel, alumínio, chumbo e zinco. Os metais preciosos são: prata (0,2%), ouro (0,1%) e paládio (0,005%) e estão na forma de filme fino sobre outros metais e cerâmicos (PARK & FRAY, 2008).

O manuseio e/ou descarte incorreto dos REEE têm o potencial de causar problemas à saúde humana e ao meio ambiente, por meio da contaminação, principalmente, do solo e das águas subterrâneas (ROCHA *et al.*, 2009).

A classificação quanto à periculosidade e a padronização do ensaio de periculosidade são normatizados pela ABNT, segundo a Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 10.004, em conjunto com a NBR 10.005. A NBR 10.004 tem a finalidade de classificar resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, onde consta uma relação de diversos materiais considerados perigosos, indicando qual o resíduo e sua procedência, qual o constituinte perigoso e qual a característica de periculosidade. Resíduos não citados na NBR 10.004, como os REEE, devem ser submetidos ao ensaio de lixiviação segundo a NBR 10.005 (DIAS, 2015).

A classificação então é baseada nos metais presentes nos componentes utilizados na fabricação dos equipamentos eletroeletrônicos (EEE), e a partir do ensaio é possível determinar a periculosidade do REEE estudado (CARVALHO, *et al*. 2011; PINHEIRO, *et al*. 2013). Dias (2015), Sant'anna, Moura & Veit (2013) e Juchneski (2013) foram alguns dos autores que, desenvolveram estudos sobre caracterização de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos e classificaram seguindo as normas NBR 10.004 e NBR 10.005.

Quanto às origens dos REEE, Rodrigues, Gunther & Boscov (2015) apresentam que as duas principais origens de geração de REEE são provenientes de instituições e de domicílios, onde os domiciliares compreendem os gerados nas residências; e os institucionais que compreendem os gerados em instituições públicas ou privadas.

O presente estudo insere-se no projeto intitulado "Gerenciamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos" coordenado pela Profa. Dra. Luciana Harue Yamane e financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), Processo nº 68781369/2014.

A primeira fase do projeto envolveu um diagnóstico de geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) nos *campi* da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), no qual foram identificados, dentre outros REEE, a

presença de impressoras danificadas e/ou obsoletas e cartuchos de tinta usados (dentro e fora das impressoras) com aparente vazamento de tinta residual.

Os resultados obtidos na primeira fase do projeto podem ser consultados no artigo intitulado “Quantification of E-Waste: A Case Study in Federal University of Espírito Santo, Brazil” dos autores Andressa Siegle Trigo Gomes, Luiza Azevedo Souza, Luciana Harue Yamane e Renato Ribeiro Siman, publicado no *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering,* volume 11, número 2, páginas 157 a 165, 2017, apresentado no Apêndice A.

Em função do extensivo uso de cartuchos de tinta na UFES, assim como em outras instituições de ensino, sua contínua geração e acúmulo e ainda, da possibilidade de vazamentos da tinta residual, faz-se necessário classificar a periculosidade dos cartuchos de tinta de impressoras usados visando o gerenciamento adequado, segundo a NBR 10.005 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

Caracterizar cartuchos de tinta de impressora usados quanto a periculosidade segundo a série de normas de resíduos sólidos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

2.2. Objetivos específicos

- Classificar a periculosidade dos cartuchos de tinta de impressora usados segundo a NBR 10.004;
- Discutir as implicações da classificação de periculosidade sobre o gerenciamento dos cartuchos de tinta usados.
- Analisar o gerenciamento empregado atualmente para os cartuchos de tinta de impressora.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos e a Associação Brasileira de Normas Técnicas

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são:

> *"Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível"* (ABNT, 2004, p. 1).

A norma NBR 10.004 de 2004 especifica os métodos e ensaios para caracterização dos resíduos sólidos e classifica de acordo com os riscos que podem oferecer para o meio ambiente. Desta forma, os resíduos são separados em classes de acordo com sua periculosidade (ABNT, 2004):

- A classe I engloba os resíduos perigosos;
- A classe II engloba os resíduos não perigosos. Esta segunda classe é sub dividida em A e B, sendo A o grupo de resíduos não inertes e o B o grupo de resíduos inertes.

A NBR 10.004 não classifica os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. A caracterização pode ser feita baseada nos componentes utilizados na fabricação dos equipamentos eletroeletrônicos (EEE), tais como mercúrio, chumbo, zinco, cobre, platina, manganês, níquel, lítio e cádmio, considerados metais pesados, uma vez que seu descarte inadequado causa danos tanto à saúde humana quanto ao meio ambiente, sendo classificados como resíduo classe I – Perigosos (CARVALHO, *et al. 2011).* No entanto, a norma cita especificamente como resíduo perigoso tóxico as cinzas provenientes da incineração de placas de circuito impresso (F043) (ARAÚJO, 2013).

A NBR 10.005 fixa os requisitos exigíveis para a obtenção de extrato lixiviado, visando diferenciar os resíduos sólidos classificados pela NBR 10.004. O ensaio de lixiviação tem o intuito de caracterizar a toxidade, determinar a periculosidade e revelar o potencial de impacto ambiental do resíduo estudado (PINHEIRO, *et al.* 2013).

Segundo Cauduro (2003), os testes de lixiviação desempenham um papel importante na caracterização de resíduos sólidos, particularmente em relação à avaliação de seus impactos ambientais reais e potenciais. Eles são utilizados para estimar a estabilidade química dos resíduos sólidos quando em contato com soluções aquosas, permitindo assim verificar o grau de mobilização ou de disponibilidade dos constituintes. Do mesmo modo, eles podem servir para modelar a migração de um contaminante de uma matriz sólida para o meio ambiente em condições reais. Neste caso, os dados poderão ser empregados em análises de risco em relação à destinação final e também para alternativas de transporte (CAUDURO, 2003).

Há ainda a NBR 16.156/2013 que estabelece requisitos para proteção ao meio ambiente e para o controle dos riscos de segurança e saúde no trabalho na atividade de manufatura reversa de resíduos eletroeletrônicos, além de requisitos específicos relacionados a responsabilidade por substâncias perigosas, a rastreabilidade dos resíduos recebidos e ao balanço de massa até a disposição.

Dias (2015), Sant'anna, Moura & Veit (2013) e Juchneski (2013), desenvolveram estudos sobre caracterização de resíduos eletroeletrônicos e realizaram a classificação do resíduo seguindo as normas NBR 10.004 e NBR 10.005.

Dias (2015) desenvolveu o estudo "Caracterização e Reciclagem de Materiais de Módulos Fotovoltaicos", onde foi realizado o ensaio de lixiviação segundo a NBR 10.005. Foram determinados os elementos fluoreto, prata, chumbo, cádmio e cromo total. A partir do ensaio de absorção atômica da solução lixiviada, foi constatado que todos os elementos estão abaixo do limite da NBR 10.004, a exceção do chumbo. Portanto como um elemento está acima do limite o resíduo foi classificado como perigoso, Classe I.

O estudo “Caracterização físico-química de placas de circuito impresso de aparelhos de telefone celular” realizado por Sant’anna, Moura & Veit (2013), após realização do procedimentos descritos na NBR 10.005 e comparando os resultados obtidos com o anexo F da NBR 10.004, o elemento chumbo encontra-se acima do limite máximo permitido no lixiviado. Com base no resultado, os aparelhos de telefone celular devem ser considerados como resíduo Classe I (perigoso).

Juchneski (2013) realizou o estudo “Monitores de LCD: caracterização dos materiais e processamento mecânico das placas de circuito impresso”. Foi realizado o ensaio para a tela de vidro e da PCI presente na tela de LCD. Para a tela de vidro foi realizada a análise para o elemento fluoreto, e para a PCI foram analisados os elementos cádmio, cromo, chumbo e mercúrio. A partir do resultado obtido por cromatografia iônica, o parâmetro fluoreto presente nas telas de vidro ultrapassou o limite da NBR 10.004, classificando essas telas como resíduo perigoso. O resultado da análise por ICP-AES, do extrato lixiviado das placas de circuito impresso da tela LCD, mostra que nenhum elemento analisado ultrapassou o limite da norma, assim sendo podem ser classificadas como Classe II – não perigoso.

3.2. Legislação brasileira relacionada aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

Segundo a ABDI (2013), a legislação ambiental brasileira pode ser considerada em diversos aspectos uma das mais avançadas do mundo. Isso porque, a Política Nacional de Meio Ambiente, estabelecida em 1981, já criava instrumentos para o planejamento, a gestão e a fiscalização ambientais, e em 1998 foi sancionada a Lei de Crimes Ambientais, que prevê a responsabilização de pessoas físicas e jurídicas por infrações ambientais. Entretanto, apesar de muitos avanços, os REEE em particular só foram contemplados por legislação específica no aspecto particular do gerenciamento pós-uso de pilhas e baterias - tratada na Resolução 257 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), de 1999, que foi posteriormente substituída pela resolução 401, de 2008 (ABDI, 2013).

Em 2010, foi criada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PRNS) que, de acordo com a Lei Federal 12.305/10 e o Decreto 7.404/10, dispõe sobre

princípios, objetivos e instrumentos, bem como as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos. Além disso, determina as responsabilidades dos geradores e do poder público, e os instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

A PNRS hierarquiza os princípios da não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem/tratamento dos resíduos sólidos, para que em último caso seja realizada a disposição final dos rejeitos (BRASIL, 2010).

Os instrumentos da PNRS são: os planos de resíduos sólidos; a coleta seletiva; a logística reversa; os acordos setoriais; a educação ambiental; os incentivos fiscais, financeiros e creditícios; os sistemas de informações ambientais e o licenciamento ambiental (BRASIL 2010).

Conforme definição apresentada na própria PNRS (Art. 3°, inciso XII), a logística reversa é:

> *"Um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada" (BRASIL, 2010, p. 2).*

A PNRS determina a implantação do sistema de logística para os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, onde é de obrigação dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de EEE realizar algumas medidas como (ABDI, 2013):

- Investir no desenvolvimento, fabricação e colocação no mercado de produtos aptos à reutilização, reciclagem ou outra forma de destinação ambientalmente adequada e cuja fabricação e uso gerem a menor quantidade de resíduos sólidos possível;
- Divulgar informações relativas às formas de evitar, reciclar e eliminar os resíduos sólidos associados a seus respectivos produtos;
- Assumir o compromisso de, quando firmados acordos ou termos de compromisso com o município, participar das ações previstas no plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, no caso de produtos ainda não inclusos no sistema de logística reversa.

O processo de construção do acordo setorial de eletroeletrônicos faz parte das exigências da Lei 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). De acordo com a política, os acordos setoriais consistem em contratos firmados entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, tendo em vista a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto. Em 2013, o Ministério do Meio Ambiente abriu um edital de chamamento para a elaboração de acordo setorial destinado à implantação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes. Porém até o presente momento o acordo não foi publicado.

Entretanto, segundo o estudo de viabilidade técnica da ABDI sobre a implementação da logística reversa (2013), o desafio reside no custo associado à operacionalização do sistema em um país de extensão continental e com suas particulares complexidades logísticas. Os benefícios decorrentes da associação da marca à sustentabilidade podem não ser suficientemente vantajosos em relação à ocupação de espaço com uma atividade que essencialmente não gera receita direta. Ainda mais delicados são os potenciais problemas decorrentes da já citada regulamentação a respeito dos REEE como resíduos perigosos.

Apesar da ausência de uma legislação brasileira específica para o gerenciamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, alguns Estados possuem Leis Estaduais, algumas criadas até mesmo antes da PNRS, e estabelecem alguns critérios em relação a estes resíduos.

A Lei Estadual n°13.576/2009 de São Paulo dispõe definições e normas para a destinação ambientalmente adequada de REEE (SÃO PAULO, 2009). Além disso, foi publicada em outubro de 2011 a Resolução SMA-038 que lista os produtos que após o consumo resultam em resíduos sólidos considerados de significativo impacto ambiental, entre eles os eletroeletrônicos, os quais deverão ter elencados a eles programas de responsabilidade pós-consumo (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2011).

No Mato Grosso, em maio de 2008, foi sancionada a Lei Estadual n° 8.876, que dispõe de procedimentos, normas e critérios para a coleta, reutilização, reciclagem, tratamento e destinação final de lixo tecnológico, e determina que todos os equipamentos que possam ser reaproveitados devem ser destinados para atingir um fim social, voltado a promover em primeiro momento a educação e profissionalização. Ainda estabelece que os resíduos ou sobras de dispositivos eletroeletrônicos que são descartados por estarem danificados, fora de uso ou obsoletos deverão ser entregues pelos usuários aos estabelecimentos que os comercializam ou à rede de assistência técnica autorizada pelas respectivas indústrias (MATO GROSSO, 2008).

Em junho de 2008, no Estado do Paraná foi publicada a Lei Estadual n° 15.851, que dispõe que as empresas produtoras, distribuidoras e que comercializam equipamentos de informática, instaladas no Estado, ficam obrigadas a criar e manter o Programa de Recolhimento, Reciclagem ou Destruição de Equipamentos de Informática, sem causar poluição ambiental (PARANÁ, 2008).

O projeto de lei do Rio de Janeiro nº 1937 de 2004 estabelece que todas as empresas que produzem ou comercializam produtos eletroeletrônicos são responsáveis pela destinação final ambientalmente adequada desses produtos, bem como de seus componentes, considerados lixo tecnológico. Entretanto, este projeto não foi aprovado e foi anexado a Política Estadual de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

No Estado do Espírito Santo, a Lei Estadual nº 9.941 de 2012, dispõe sobre normas e procedimentos para a coleta seletiva, o gerenciamento e a destinação final de resíduos de equipamento eletroeletrônico no Estado. Esta Lei obriga que empresas fabricantes de equipamentos eletroeletrônicos garantam a logística reversa e, ainda, traça uma meta de reciclagem onde os fabricantes de equipamentos eletroeletrônicos devem garantir a reciclagem de no mínimo 0,5kg *per capita* por ano até o ano de 2025, devendo aumentar gradativamente o quantitativo para dois quilogramas *per capita* por ano, até o ano de 2050 (ESPÍRITO SANTO, 2012).

Ainda que existam algumas Leis Estaduais, estas legislações contêm textos sucintos, com poucas definições e metas subdimensionadas (ROCHA, *et al.* 2009).

3.3. Legislação internacional relacionada aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

Segundo Nnorom e Osibanjo (2008), houve uma tendência mundial de criação de legislações que estabelecem os princípios para a gestão e gerenciamento de REEE afim de minimizar os impactos ambientais causados pelos mesmos, e estas legislações estão em uma grande parte elencadas ao princípio de responsabilidade compartilhada, que vai do consumidor e é estendida até o produtor. Além das políticas estabelecerem diretrizes para a destinação final dos REEE, também estabelecem recomendações ao longo de todo seu ciclo de vida, desde a concepção do produto (*ecodesign*), fabricação e descarte (NNOROM & OSIBANJO, 2008).

Segundo Ballam (2010), a legislação norte-americana não prevê uma regulamentação nacional, mas sim, soluções em nível estadual, sendo que até 2012, apenas 24 estados haviam criado suas legislações específicas. Como exemplo, os Estados do Texas e da Carolina do Norte empregam o *Returns 1* onde os fabricantes devem desenvolver e implementar os seus próprios programas de reciclagem, no qual o Texas exige programa de coleta pelos consumidores e a Carolina do Norte exige programa de coleta pelos coletores. Maine e Connecticut empregam o *Returns 2,* onde os fabricantes pagam pelo transporte e reciclagem dos produtos de sua marca coletados por terceiros (BALLAM, 2010).

A Suíça é um país pioneiro na gestão do resíduo eletroeletrônico. A coleta e a gestão dos REEE começaram antes mesmo de sua legislação entrar em vigor, por meio da *Swiss Foundation for Waste Management,* uma iniciativa voluntária de responsabilidade dos produtores (SANT'ANNA, MACHADO, BRITO, 2014). O elemento essencial do sistema de gestão do resíduo eletrônico suíço está na responsabilidade estendida do produtor, com uma definição clara dos papéis e das responsabilidades de todas as partes envolvidas. O fabricante do produto é responsável por toda a vida útil do produto, inclusive por sua reciclagem e disposição final, no entanto essa responsabilidade é compartilhada entre todos

os envolvidos (governo, fabricantes, importadores, distribuidores, varejistas, consumidores, ponto de coleta e recicladores). Por lei, os consumidores são obrigados a levar os aparelhos descartados para as lojas ou pontos de coleta e ainda tem a responsabilidade financeira final, ao comprar um produto novo desembolsa uma taxa antecipada de reciclagem. Os pontos de coleta, são obrigados a transportar o REEE gratuitamente até os recicladores e garantir sua segurança contra furtos e exportações ilegais (SANT'ANNA, MACHADO, BRITO, 2014).

No Japão, as atividades de reciclagem de REEE foram instituídas pela lei *Japan's Home Appliance Recycling Law* (FURUKAWA, 2012) a qual determina que produtos como televisores, geladeiras, máquinas de lavar, ar condicionados e secadoras de roupa tem como requisito legal o pagamento uma taxa de reciclagem pelos consumidores para o descarte dos eletrodomésticos que inclui coleta e transporte. O comércio varejista e o governo coletam os REEE e os encaminha aos fabricantes para reciclagem (BALLAM, 2010). Um levantamento realizado por Furukawa (2012) apontou que em, 2001, cerca de 2.981.000 televisores de tubos de raios catódicos foram recicladas no Japão e, em 2010, o número aumentou para 15.607.000.

A União Européia (UE) instituiu as diretivas *Waste Electrical Electronic Equipment* (WEEE) (2002/96/EC) e *Restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment* (RoHS) (2002/95/EC).

A primeira diretiva (WEEE) entrou em vigor em fevereiro de 2003 e instituiu a criação de sistemas de coleta, onde os consumidores retornam os seus REEE gratuitamente e, em dezembro de 2008, a Comissão Europeia (CE) propôs a revisão da diretiva a fim de se adequar ao rápido aumento do fluxo de resíduos. A nova diretiva (2012/19/UE) entrou vigor em fevereiro de 2014 (UE, 2016).

A segunda diretiva (RoHS) restringe o uso de metais como chumbo, mercúrio, cádmio e cromo hexavalente e alguns tipos retardadores de chama. Em dezembro de 2008 a Comissão Europeia também propôs a revisão da diretiva, com o objetivo de reduzir os encargos administrativos e assegurar a coerência com as políticas mais recentes. A nova diretiva RoHS (2011/65/EU) entrou em vigor em janeiro de 2013 (CE, 2016).

A Convenção de Basiléia, ocorrida na Suíça em março de 1989, foi um marco importante na gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos ao passo que estabeleceu o controle de movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos e seu depósito (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2016). Entretanto, segundo o relatório da *United Nations Environment Program* (StEP, 2009), mais de 90% dos REEE do mundo ainda são ilegalmente exportados e os países da Ásia e África como China, Índia, Paquistão e Nigéria se tornaram destinos conhecidos para REEE ao longo do tempo.

De acordo com Sthuannopkao & Wong (2012), o Paquistão se tornou o maior destino para os REEE oriundos de países da UE, além de receber de países como Austrália e Estados Unidos, mesmo apresentando uma política que proíbe esta prática de recebimento desde 1997. A Nigéria também se tornou um conhecido destino para os REEE advindos da Europa e Ásia (STHUANNOPKAO & WONG, 2012).

A pressão das legislações locais e a inconveniência e o custo da disposição de volumes crescentes de REEE, está levando os países desenvolvidos a transferir seus problemas relacionados à gestão de seus resíduos, para os países em desenvolvimento, sendo comum a prática da exportação de “sucatas” disfarçadas de equipamentos novos, que chegam ao seu destino a preço de custo e podem funcionar ainda por algum tempo antes de se tornarem efetivamente resíduo sólido (REIDLER, 2012).

A China possui uma lei que bane a importação de REEE desde 2002 e, em 2005, a lei *Management Measure for Prevention of Pollution from Electronic Products* se tornou efetiva no País, especificando limites de materiais perigosos similar à diretiva europeia (STHUANNOPKAO & WONG, 2012). Já em 2009 foi homologada outra lei que se refere ao gerenciamento dos resíduos eletroeletrônicos do país e estabelece o financiamento da reciclagem de resíduos eletroeletrônicos nas quais companhias recicladoras são responsáveis pela coleta, manejo e reciclagem dos REEE (STHUANNOPKAO & WONG, 2012).

3.4. Geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

Segundo a ABDI (2013), ao fim de sua vida útil, os equipamentos eletroeletrônicos (EEE) passam a ser considerados resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE). Porém só chegam a esse ponto quando esgotadas todas as possibilidades de reparo, atualização ou reuso. Alguns deles, notadamente os equipamentos de telecomunicações, têm um ciclo de obsolescência mais curto devido à introdução de novas tecnologias ou à indisponibilidade de peças de reposição. Com isso eles são substituídos e, portanto, descartados mais rapidamente (ABDI, 2013).

Há ainda a obsolescência programada, que pode ser melhor definida como a adoção de medidas que reduzem a vida útil dos produtos e componentes (ABDI, 2013).

Segundo Frésca (2007), o desenvolvimento tecnológico, o crescimento industrial, o acelerado processo de urbanização e o crescimento populacional somado à mudança de hábitos e de consumo acarretaram e vem acarretando diversos problemas ambientais.

A geração dos REEE é de complexa quantificação por ser dinâmica no tempo e, também, por estar intrinsecamente relacionada a diversos fatores, como desenvolvimento tecnológico, economia, políticas governamentais, estratégias da indústria para a comercialização e comportamento dos usuários em relação à substituição/compra e manutenção dos equipamentos (RODRIGUES; GUNTHER; BOSCOV, 2015). O cálculo dos residuos eletroeletrônicos gerados pode ser baseado em dados empíricos, em modelos e rotinas estatísticas (BALDÉ *et al*., 2015).

A taxa de geração de REEE no mundo cresce 5% anualmente (MACCANN & WITTMAN, 2015). O volume de REEE pode crescer até 500% na próxima década em alguns países (MACCANN & WITTMAN, 2015).

Segundo Rodrigues, Gunther, Boscov (2015), as duas principais origens de geração de resíduos eletroeletrônicos são a institucional e a domiciliar, definindo fluxos distintos. O fluxo institucional compreende os REEE provenientes de instituições públicas ou privadas, incluindo empresas de diversas áreas, enquanto que o fluxo domiciliar corresponde aos REEE

gerados nas residências, no âmbito do domicílio (RODRIGUES; GUNTHER; BOSCOV, 2015).

De acordo com Liu, Wu e Gong (2015), em 2015 foram gerados 1,805Mt de REEE pelas famílias de Beijing, na China.

Baldé *et. al*. (2015), publicaram o relatório "T*he global e-waste monitor 2014*", onde se encontram estimativas de geração de REEE para diferentes cenários. Em um destes cenários, chamado de "*Official take-back systems*", que considera que a maioria dos resíduos sólidos é coletada por entidades municipais, lojas e serviços comerciais de coleta, o estudo estimou que a quantidade de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos gerados em 2014 no mundo foi em torno de 41,8Mt. E, ainda, que 4 bilhões de pessoas moravam em regiões onde existiam legislação vigente sobre REEE. Assim, estimulado pelas leis, cerca de 6,5Mt de resíduos eletroeletrônicos foram reportados como formalmente tratados pelos sistemas de logística reversa.

Os mesmos autores estimaram a quantidade de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos por habitante no mundo de 2010 até 2018. Os resultados seguem na Tabela 1.

Tabela 1: Quantidade de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos gerada no mundo e previsão de geração até 2018.

Ano	REEE gerado (Mt)	População (bilhões)	REEE gerado (kg/hab)
2010	33,8	6,8	5,0
2011	35,8	6,9	5,2
2012	37,8	6,9	5,4
2013	39,8	7,0	5,7
2014	41,8	7,1	5,9
2015	43,8	7,2	6,1
2016	45,7	7,3	6,3
2017	47,8	7,4	6,5
2018	49,8	7,4	6,7

Fonte: *Baldé et al*., (2015).

Ainda, o estudo estima a quantidade de REEE gerados por categorias de equipamentos em 2014, sendo: 1Mt de lâmpadas; 3Mt de pequenos equipamentos de informação e tecnologia; 6,3Mt de telas; 7Mt de equipamentos de refrigeração e aquecimento; 11,8 milhões de toneladas de

equipamentos grandes e 12,8 milhões de toneladas de equipamentos pequenos foram descartados neste ano (BALDÉ *et al*., 2015).

Segundo a ABDI, o consumo de EEE testemunha crescimento constante no Brasil, fruto da expansão do mercado interno, de incentivos ao crédito e de isenções pontuais de tributação, bem como mudanças de comportamento na sociedade, o que leva à um aumento do poder de compra das classes C e D, e fez com que milhões de famílias passarem a adquirir produtos que anteriormente não tinham condições de comprar (ABDI, 2013). Entretanto, o país enfrenta desafios para estabelecer o gerenciamento do REEE.

Reforçando a necessidade de gerenciar o REEE, Rocha *et al.* (2009) estimou um acúmulo, entre os anos de 2001 e de 2030, de 22,4 milhões de toneladas de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, envolvendo celulares, televisores, computadores, rádios, máquinas de lavar roupa, geladeiras e *freezers* no Brasil.

Rodrigues, Gunther e Boscov (2015) estimaram a geração anual média total e *per capita* de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, por cenário, no município de São Paulo para os anos entre 2006 e 2010, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Estimativa de geração anual média (total e *per capita*) de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, por cenário, São Paulo, 2006/2010.

Cenários	Geração de Resíduos Média anual (Ton.ano-¹)	Geração de resíduos Média per capita (kg. hab.-¹.ano-¹)
1 – São resíduos os EEE funcionando precariamente ou quebrados	22.967	2,0
2 – São resíduos os EEE descartados com exclusão dos encaminhados para reutilização	16.135	1,4
3 – Somente 75% dos EEE encaminhados para reutilização foram efetivamente reutilizados	25.358	2,3
4 – Somente 50% dos EEE encaminhados para reutilização foram efetivamente reutilizados	34.581	3,1

Fonte: Rodrigues; Gunther; Boscov, (2015).

Um levantamento realizado pela ADBI (2013) mostra que os 150 maiores municípios brasileiros, a maioria nas regiões Sudeste e Sul, são responsáveis por, aproximadamente, dois terços de todo o resíduo de equipamento eletroeletrônico que se estima ser descartado no país.

Como no Brasil ainda não existe um sistema estruturado de gerenciamento de REEE de forma que: parte vai parar no mercado informal, parte dos equipamentos é absorvida para o reuso, por vezes operado por agentes alheios à questão ambiental, como pequenas empresas que vendem os equipamentos ou suas partes ainda em funcionamento ou passíveis de reparo; e outra parte, o material inservível para reuso, se soma ao restante dos RSU (ABDI, 2013).

3.5. Classificação de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

Schalch e Córdoba (2009), baseados nas definições da ABNT e na Política Nacional de Resíduos Sólidos, propuseram uma classificação a qual agrupa os diferentes resíduos sólidos em quatro categorias básicas:

- Resíduos Sólidos Urbanos (RSU): são os resíduos domiciliares, resíduos de serviço de saúde, resíduos de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários, resíduos de construção e demolição, resíduos de poda e capina e por fim os resíduos de serviços – resíduos de feiras livres, resíduos comerciais, resíduos de varrição e os resíduos de limpezas de boca de lobo, parques e jardins;
- Resíduos Sólidos Industriais (RSI): neste grupo estão incluídos os resíduos oriundos de diversas cadeias produtivas industriais;
- Resíduos Sólidos Rurais (RSR): resíduos sólidos oriundos de atividades agropecuárias;
- Resíduos Sólidos Especiais (RSE): neste grupo estão incluídos os rejeitos radioativos, os resíduos domiciliares perigosos e os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.

A ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica) faz a seguinte classificação para o setor: automação industrial; componentes; equipamentos industriais; geração, distribuição e transmissão de energia elétrica; material de instalação, informática, telecomunicações e utilidades domésticas e estão divididos em quatro categorias (ABINEE, 2012):

Linha Branca: refrigeradores e congeladores, fogões, lavadoras de roupa e louça, secadoras, condicionadores de ar;

Linha Marrom: monitores e televisores de tubo, plasma, LCD e LED, aparelhos de DVD e VHS, equipamentos de áudio, filmadoras;

Linha Azul: batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos, furadeiras, secadores de cabelo, espremedores de frutas, aspiradores de pó, cafeteiras;

Linha Verde: computadores *desktop* e *laptops*, acessórios de informática, *tablets* e telefones celulares.

Entretanto, a *United Nations University* (UNU), em relatório de indicadores de REEE divulgado em 2015, ressalta que existem muitos tipos de eletroeletrônicos disponíveis no mercado, o que torna difícil o agrupamento destes em categorias. Ainda segundo a UNU (2015), de modo geral, as

categorias não devem ser definidas especificamente em torno de produtos que representam ou não uma ameaça para o ambiente, ou contenham ou não materiais valiosos, pois isso impõe encargos administrativos desnecessários para os respondentes. Por outro lado, o sistema de classificação também não deve ser demasiadamente agregado, pois existem diferenças entre países que podem tornar difícil a interpretação de uma dada classificação (UNU, 2015).

3.6. Composição de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

Os equipamentos eletroeletrônicos podem apresentar até 60 tipos de elementos diferentes, sendo alguns valiosos e outros perigosos (StEP, 2009). Segundo a ABDI (2013), os diversos materiais que compõem os REEE são: polímeros, vidros, componentes eletrônicos, metais, dentre outros, e estes materiais estão frequentemente dispostos em camadas e subcomponentes afixados por solda ou cola. Alguns equipamentos ainda recebem jatos de substâncias químicas específicas para finalidades diversas como proteção contra corrosão ou retardamento de chamas (ABDI, 2013).

Segundo Park & Fray (2008), os metais que são encontrados no REEE incluem cobre, ferro, níquel, alumínio, chumbo e zinco. Os metais preciosos são a prata (0,2%), o ouro (0,1%) e o paládio (0,005%) e estão na forma de filme fino sobre outros metais base e cerâmicos (PARK & FRAY, 2008).

Desta forma, a composição dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos é um fator de relevância por ser peculiar e individual para cada categoria de equipamentos, independente da classificação adotada (PORTAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2015).

A fim de lidar com a complexidade dos materiais encontradas nos REEE, Crowe *et al.* (2003) sugerem seis categorias:

- Ferro e aço – usados para revestimentos e quadros;
- Materiais não ferrosos – especialmente o cobre usado em cabos, e o alumínio;
- Vidro – usado para telas;
- Plástico – usado como revestimento em cabos e em placas de circuito impresso;

- Dispositivos eletrônicos – usados em placas de circuito impresso;
- Outros – borracha, madeira, cerâmica e etc.

A título de exemplo, um trabalho realizado por Serafim & Maia (2013) determinou a quantidade aproximada de elementos que podem ser recuperados em dois tipos de equipamentos eletroeletrônicos (computadores e celulares), sumarizados na Tabela 3.

Tabela 3: Quantidade de materiais recuperáveis presentes em resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.

REEE	Quantidade	Material
Computadores	1 computador	- 28% de metais (cobre, ferro, zinco, prata, ouro, entre outros); - 19% de plástico; - 4% de bromo; - 49% de meterias cerâmicos, vidros e óxidos
Celulares (sem e bateria)	1 tonelada	- 3,5kg de prata; - 340g de ouro; - 140g de paládio; - 130kg de cobre

Fonte: Pnuma, (2010); Gerbase & Oliveira, (2012) *apud* Serafim & Maia, (2013).

Além dos materiais que podem recuperados apresentados na Tabela 3, vale ressaltar que os REEE apresentam em sua composição elementos perigosos a saúde humana e ao meio ambiente. Cui e Forssberg, (2003) listaram alguns destes elementos perigosos (vide Tabela 4).

Tabela 4: Componentes perigosos em resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.

Materiais e Componentes	Descrição
Baterias	Metais pesados como chumbo, mercúrio e cádmio podem estar presentes
Telas de tubos catódicos	Chumbo no cone de vidro e camada fluorescente dentro de painel de vidro
Componentes contendo mercúrio, como interruptores	Mercúrio é usado em termostato, sensores e interruptores. É usado também em equipamentos médicos, transmissores de dados, telecomunicação e celulares.
Resíduos de amianto	Resíduos de amianto tem de ser tratado seletivamente
Cartuchos de impressora	Cartuchos de tinta e toners devem ser removidos e coletados separadamente devido à tinta residual que pode conter chumbo.
Placas de circuito impresso	Em placas de circuito impresso se encontram cádmio em certos componentes como, chips, detectores e semicondutores e chumbo nas soldas
Capacitores contendo bifenilas policloradas	Capacitores devem ser removidos, pois caso venham ser incinerados geram gases tóxicos
Monitores de cristal líquido (LCDs)	LCDs com uma superfície superior que $100cm^2$ devem ser removidos de REEE
Plásticos contendo retardadores de chama halogenados	Durante a incineração/combustão do plástico os retardadores de chamas podem produzir gases tóxicos
Equipamentos contendo CRC HCFC ou HFCs	HCFC ou CFCs presentes na espuma e no circuito de refrigeração devem ser propriamente extraídos e destruídos ou reciclados
Gás de lâmpadas	Mercúrio tem de ser removido

Fonte: Adaptado de Cui & Forssberg, (2003).

Ainda, aditivos são adicionados aos componentes e materiais usados na fabricação de equipamentos eletroeletrônicos (listados na Tabela 5) para dá-los propriedades requeridas, sendo que as funções destes aditivos são diversas, podendo ser usados, por exemplo, para tornar os componentes e materiais condutivos, para os tornar retardadores de chama ou os tornar flexíveis

(BILITEWSKI; DARBRA; BARCELO, 2012). A Tabela 5 lista os aditivos utilizados.

Tabela 5: Classificação de aditivos baseados nos efeitos na saúde e meio ambiente.

Classe	Substância
Potencialmente não problemático	Bisfenol A fosfato de difenilo, Resorcinol bis (fosfato de difenilo), Tri-hidróxido de alumínio, Hidróxido de magnésio
Potencialmente problemático	Fosfato de trifenilo, Fosfato de tricresilo, Fosfato de cresilo difenil, Tetraquis (hidroximetil) fosfónio, Trióxido de Antimónio, Compostos de boro (boratos exceto o borato de zinco)
Sem dados insuficientes	Sal de alumínio, Melamina, Fósforo vermelho, Polifosfatos de amónio
Não recomendado	Politetrafluoroetileno, Zinco, Borato

Fonte: Bilitewski, Barbra & Barcelo, (2012).

Desta forma, devido à presença dos componentes e aditivos apresentados nas Tabelas 4 e 5, respectivamente, os REEE requerem cuidado no manuseio, tratamento e na disposição final. O descarte incorreto dessas substâncias tóxicas pode ocasionar contaminação do solo e dos lençóis freáticos e também, por sua vez, das plantas, dos animais e dos seres humanos (SERAFIM & MAIA, 2013).

Apesar dos aspectos ambientais relacionados à contaminação potencial por REEE, os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos são provedores secundários de materiais através da reciclagem (BALDÉ, 2015). A quantidade de ouro extraído dos REEE, em 2014, foi de aproximadamente 300t, o que representa 11% da produção global de ouro extraído de minas em 2013 (USGS, 2014).

3.7. Aspectos sociais relacionados aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

O crescente consumo de equipamentos eletroeletrônicos tem o potencial de expandir a economia e os níveis sociais. Porém tem sido foco de crescente preocupação com relação aos impactos ambientais e sociais potencialmente

negativos associados à fabricação, ao uso, tratamento e destino dos REEE (REIDLER, 2012). Em particular, a disposição final dos REEE gera crescente controvérsia por parte dos fabricantes, consumidores, organizações não-governamentais e reguladoras, por causa dos potenciais danos ambientais, sociais, econômicos e de saúde, dependendo da forma como esses produtos são gerenciados (REIDLER, 2012).

A ausência de regulamentação quanto à responsabilidade pelo REEE faz com que o fluxo desses produtos pós-consumo formado por diversos atores, transcorra de forma caótica, difusa e sem controle (RODRIGUES, 2007).

Em muitas cidades dos países em desenvolvimento há um extenso sistema de coleta e reciclagem informal de resíduos. Embora esse mercado informal proceda com um importante percentual de reciclagem, há aspectos negativos significativos nessa atividade: substâncias perigosas são dispostas inadequadamente; crianças participam como mão de obra nas atividades, e essa é realizada sem o adequado controle de saúde dos trabalhadores (AGAMANTHU 2010, *apud* ARAÚJO, 2013). A atividade é realizada por pessoas marginalizadas que necessitam dessa renda para sobreviver. Tal parcela representa um percentual significativo da população urbana em países em desenvolvimento, número que chega a 6 milhões na China e 1 milhão na Índia (ARAÚJO, 2013).

3.7.1. Impactos à saúde do trabalhador

Segundo Trombini & Gomes (2013), as preocupações causadas pelos impactos sócio-ambientais associados ao aumento do volume gerado dos REEE têm sido reconhecidamente considerada como um risco crescente para a sociedade e o meio ambiente, devido à presença de substâncias tóxicas presentes em sua composição. No entanto, a problemática extrapola as questões ambientais, uma vez que o reaproveitamento dos metais através da reciclagem informal, quando incinerados e/ou manipulados de maneira inadequada, podem ser responsáveis por causar severos danos à saúde (TROMBINI & GOMES, 2013).

As principais preocupações relativas à saúde dos trabalhadores em instalações industriais de reciclagem estão associadas aos procedimentos de reciclagem

mecânica ou térmica, tais como a moagem e os processos de fusão (RODRIGUES, 2012).

A presença de chumbo na solda, da fibra de vidro e de aditivos retardadores de chama faz com que os processos de reciclagem tenham sistemas de controle e tratamento de efluentes líquidos e gasosos para evitar riscos à saúde dos trabalhadores envolvidos (JÚNIOR, *et al.* 2013).

O descarte incorreto dos REEE pode acarretar efeitos visualizados indesejados como expostos na Tabela 6:

Tabela 6: Substâncias presentes no REEE, vias de contaminação e efeitos à saúde.

Substância	Contaminação	Efeito
Mercúrio	Inalação e toque	Problemas de estômago, distúrbios renais e neurológicos, alterações genéticas e no metabolismo
Cádmio	Inalação e toque	Agente cancerígeno, afeta o sistema nervoso, provoca dores reumáticas, distúrbios metabólicos e problemas pulmonares
Zinco	Inalação	Provoca vômitos, diarreias e problemas pulmonares
Manganês	Inalação	Anemia, dores abdominais, vômito, seborreia, impotência, tremor nas mãos e perturbações emocionais
Cloreto de amônia	Inalação	Acumula-se no organismo e provoa asfixia
Chumbo	Inalação e toque	Irritabilidade, tremores musculares, lentidão de raciocínio, alucinação, insônia e hiperatividade

Fonte: Guaritá & Imbroisi, *apud* Serafim & Maia, (2013).

Além dos componentes, mostrados na Tabela 6, outras substâncias ainda mais nocivas como dioxinas, furanos, poliaromáticos halogenados, bifenilas policloradas, retardadores de chama bromados, amiantos e arsênio podem ser liberadas decorrente de operações de reciclagem e da disposição inadequadas dos REEE (REIDLER, 2012). Algumas dessas dioxinas foram classificadas como carcinogênicas pelo *International Agency for research on Cancer* (IARC), representando um problema para a saúde pública e ambiental (REIDLER, 2012). A exposição direta a esses poluentes orgânicos persistentes em ambientes de trabalho, por meio de vias respiratórias, é também motivo de preocupação por seu impacto na saúde do trabalhador em particular e na saúde pública geral (REIDLER, 2012).

Cayumil, *et al.* (2016) relataram os seguintes estudos sobre a exposição de crianças a metais. Análise de cromo, níquel e manganês e sua relação com a função pulmonar foi avaliada em crianças que vivem em um local de transformação de resíduos na China. Níveis de Mn e Ni foram comparados com o de crianças que vivem em áreas controladas e estes foram significantemente mais elevados. Níveis de chumbo e cádmio foram analisados em crianças de Guiyu, China e ambos os metais tinham concentrações muito maiores nas crianças de Guiyu do que de Chendian (área de controle), sendo que os elevados níveis destes metais foram associados a baixa estatura das crianças de Guiyu.

3.8. Aspectos econômicos relacionados aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

Segundo Veit (2005), o descarte dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos junto ao resíduo sólido doméstico implica na perda de materiais valiosos (principalmente cobre). O impacto ecológico dos REEE, quando não tratado apropriadamente, e a perda econômica, proveniente da não valorização da economia de ciclo, são imensos (VEIT, 2005).

De acordo com Júnior *et al.* (2013), muitos dos materiais presentes no REEE têm valor agregado, sendo que a maioria destes se encontra nas placas de circuito impresso (PCI). As quantidades de metais valiosos são significativas

considerando-se, por exemplo, que a concentração de ouro existente na PCI é superior à encontrada em fontes primárias (JÚNIOR, *et al.* 2013).

A disposição final de REEE em aterros sanitários implica na perda de materiais metálicos valiosos, na diminuição da vida útil dos aterros sanitários além do custo de disposição (VEIT, 2005).

3.8.1. Reciclagem de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil e no Mundo

Segundo Araújo (2013), os REEE são constituídos por vários componentes, sendo que alguns podem dificultar a reciclagem. Várias iniciativas governamentais e não governamentais foram deslanchadas entre os atores envolvidos na gestão de REEE, principalmente na Europa, a partir da década de 90, apesar da legislação europeia impor a logística reversa, parte dos materiais é perdida, por falta de esforços na logística reversa, tecnologias de reciclagem não apropriadas e exportação ilegal dos REEE (ARAÚJO, 2013).

Apesar de aproximadamente 94% dos materiais contidos nos aparelhos eletroeletrônicos serem recicláveis, o Brasil, além de não dispor de dados de geração e plantas de reciclagem de REEE, não possui estratégia implementada, dependendo apenas de iniciativas isoladas de tratamento em nível privado (SERAFIM & MAIA, 2013).

As placas de circuito impresso são encontradas em quase todos os equipamentos eletroeletrônicos (computadores, televisores, VCR’s, DVD’s, telefones celulares, impressoras, etc) (VEIT, 2005). Em seu trabalho Veit (2005) encontrou 17g de ouro por tonelada de resíduos de PCI, sendo que na mineração de ouro a quantidade extraída varia de 6-12g por tonelada de minério. A Tabela 7 mostra o percentual de metais presentes em uma placa de circuito impresso.

Tabela 7: Composição média de uma placa de circuito impresso.

Componentes PCI		Quantidades (%)	
Plásticos		19%	
Mat. Cerâmicos, vidro e óxidos		49%	
Bromo		4%	
		Metais	Valores Médios
		Cu	14%
		Fe	6%
		Ni	2%
Metais	28%	Zn	2%
		Sn	2%
		Ag	0,3%
		Au	0,04%
		Pd	0,02%

Fonte: Gerbase & Oliveria (2012).

Rodrigues (2007) reporta que uma recicladora na cidade de São Paulo coleta placas de circuito impresso e, após a moagem, são exportadas para posterior tratamento e recuperação de metais em outros países. Bandini (2009 *apud* Araújo, 2013) estima que existe apenas 2% de reciclagem de REEE em todo o país.

Segundo Araújo (2013), há algumas empresas que processam os REEE de forma integrada, por diversos processos para recuperação de vários materiais e, principalmente, dos metais preciosos como ouro, platina, prata e as “terras raras”. Usualmente aplicam, após a moagem, processos pirometalúrgicos, através do qual os REEE são submetidos a temperaturas elevadas e fundidos, com os controles adequados de emissões e através de processos hidrometalúrgicos, os diferentes metais são recuperados. Essas fundições integradas de metais necessitam de investimentos da ordem de US$ 1 bilhão para um volume de centenas de milhares de toneladas de material por ano

(StEP, 2009) e se resumem a poucas operações no mundo, devidamente habilitadas para tratamento de REEE, podendo-se citar: Aurubis (em Hamburgo e Lunen), Umicore (em Hoboken, Bélgica) Xstrata (no Canadá), Dowa (no Japão) e Boliden (na Suécia), nas quais o tratamento de REEE representa apenas um pequeno percentual (5 a 10%) da operação (StEP, 2009).

3.9. Aspectos ambientais relacionados aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

A gestão ambiental na indústria eletroeletrônica é relativamente recente, e o foco das pressões ambientais deixa de ser a gestão ambiental da produção e passa a ser a gestão ambiental do produto, ou seja, a durabilidade do produto, a possibilidade de reciclagem do mesmo, o tipo de matéria prima usada, a facilidade de desmonte e reaproveitamento, o tipo de embalagem e seu processo de reciclagem, são todos fatores considerados, visando minimizar impacto ambiental depois de seu consumo (KOBAL, *et al.* 2014).

Segundo relatório da iniciativa *Solving the E-Waste Problem* – StEP sobre os resíduos de equipamentos eletrônicos os processos de tratamento de REEE têm dois objetivos: remover os elementos perigosos (como metais que contaminam o meio ambiente) e recuperar o máximo possível de materiais através da reciclagem (StEP, 2009). Portanto, se a cadeia de reciclagem do REEE for realizada pode-se evitar que os metais sejam extraídos da natureza, e contaminem o meio ambiente (SERAFIM & MAIA, 2013).

3.9.1. Consumo de matéria-prima pela indústria eletroeletrônica

Segundo Reidler (2012), os impactos dos EEE começam com a extração de matérias primas para a produção, geralmente recursos naturais não renováveis, o que resulta na degradação ambiental. O processo produtivo envolve recursos econômicos, tecnologia, espaço físico, quantidades de energia, matérias primas, insumos, mão de obra especializada e transporte, entre outras. Um único chip de memória RAM de 2,0g consome 1,7 quilos de combustíveis fósseis e substancias químicas para ser produzido, o que corresponde a cerca de 400 vezes o seu peso (KUEHR & WILLIAMS, 2003 *apud* REIDLER, 2012).

De acordo com levantamento realizado pela iniciativa *Solving the E-Waste Problem* – StEP (2014), anualmente, são retirados cerca de 320 toneladas de ouro e mais de 7.500 toneladas de prata para fabricar computadores, celulares, *tablets* e outros novos produtos eletrônicos e elétricos em todo o mundo, somando mais de 21 bilhões de dólares em valor a cada ano para a "mineração urbana" do resíduo de equipamentos eletroeletrônicos. Em 2011, 7,7% do ouro extraído destinou-se à produção de aparelhos eletroeletrônicos (SERAFIM & MAIA, 2013).

Em 2008 cerca de 41 toneladas de paládio foram utilizadas para equipamentos eletroeletrônicos, o que corresponde a 20% do montante extraído em todo o mundo. O montante médio de paládio, por celular, de 9mg corresponde a uma quantidade total de 11,5t anualmente utilizados para celulares (StEP, 2013).

Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos e de veículos a motor enviados para sucata, representam apenas 1% de todos os resíduos sólidos em termos de massa, porém 38% de todo cobre (28% e 10%, respectivamente) são destinados à cadeia de equipamentos eletroeletrônicos (TANIMOTO, *et al.* 2010).

Os resíduos da mineração representam uma grande parte dos impactos ambientais totais dos equipamentos eletroeletrônicos (ARAÚJO, 2013).

3.9.2. Destinação final de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

Por mais que se busque eficiência a reciclagem de REEE sempre gera uma quantidade de rejeito - material cujo reaproveitamento é inviável (ABDI, 2013). Os rejeitos de REEE, naturalmente, não devem ser descartados em bota-foras ou lixões a céu aberto, devido ao elevado risco de contaminação (ABDI, 2013).

Estudos apontam que a presença de metais pesados associada ao ambiente com baixo pH e longo tempo de exposição indicam que nem os aterros sanitários são adequados à deposição de rejeitos de REEE. Placas de circuito impresso, monitores CRT e outros componentes devem ser classificados como resíduos perigosos e ser eliminados em áreas devidamente licenciadas para este fim (ABDI, 2013).

A contaminação ambiental por substâncias perigosas existentes nos resíduos sólidos dispostos no aterro é função de diversos fatores: composição do resíduo, formato e tamanho do resíduo, reatividade e degradabilidade do material, pH, e outros (ARAÚJO, 2013).

Segundo Mattos, Mattos & Perales (2008), os principais problemas que podem ser causados pelo REEE nos aterros sanitários são:

- A lixiviação do mercúrio que ocorre quando determinados dispositivos eletrônicos são destruídos durante a prensagem em aterros sanitários.
- O mesmo pode conter cádmio que além de se infiltrar no solo pode contaminar os depósitos fluviais.
- A quantidade significativa de íons de chumbo que são dissolvidos a partir do chumbo contido em vidro, tal como o vidro cônico dos tubos de raios catódicos, quando misturados com águas ácidas, o que ocorre comumente nos aterros sanitários.
- A vaporização do mercúrio metálico e o mercúrio dimetileno, é também fonte de preocupação.
- Além disso, fogos não controlados podem ocorrer nos aterros sanitários e, quando expostos ao fogo, metais e outras substâncias químicas podem ser liberados, causando danos à população

De acordo com Paiva (2013), haverá constantes esgotamentos de espaços disponíveis para disposição final de resíduos sólidos nos municípios, o que mostra que não é esta a solução final para a problemática. O desafio em questão é a redução da quantidade gerada e os equipamentos elétricos e eletrônicos são os que apresentam maior crescimento do volume total tanto em países desenvolvidos, quanto em países em desenvolvimento (PAIVA, 2013).

3.9.3. Contaminação hídrica por resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

Rodrigues (2007) aborda que lixiviação das substâncias tóxicas presentes nos REEE descartados com os resíduos urbanos, é verificada, em condições de entrada de água da chuva, bem como outros processos químico e físicos que ocorrem em aterros sanitários e depósitos clandestinos a céu aberto. Foi

realizada uma análise de contaminação por metais numa lagoa localizada nas proximidades de um local de reciclagem informal de REEE em Longtang, China, e os resultados mostraram a acidificação e contaminação por cádmio e cobre nas águas da lagoa, utilizada para irrigação de solos de arroizal e também na superfície do solo (CAYUMIL *et al.* 2016).

Segundo a Agencia Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2012), os REEE não devem ser depositados diretamente na natureza ou junto com rejeitos orgânicos. Mesmo nos aterros sanitários o contato dos metais com a água incorre em imediata contaminação do chorume, multiplicando o impacto decorrente de qualquer eventual vazamento e, penetrando no solo, esse material pode contaminar lençóis subterrâneos ou acumular-se em seres vivos (ABDI, 2012).

3.9.4. Contaminação atmosférica por resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

Segundo Cayumil *et al.* (2016), a manipulação, a desmontagem manual e a trituração de REEE podem gerar poeiras com a liberação de níveis preocupantes de cadmio - Cd, cromo - Cr, cobre - Cu, chumbo - Pb, níquel - Ni, mercúrio - Hg e zinco - Zn, além do processamento inadequado dos REEE em elevadas temperaturas, como o método de incineração a céu aberto.

Os metais possuem baixa pressão de vapor, sendo pouco voláteis, o que torna sua taxa de emissão pouco elevada, contudo, nos processos térmicos em que são utilizadas altas temperaturas, a emissão se eleva consideravelmente (ANDRADE, 2002).

De acordo com Cayumil *et al.* (2016), amostras de ar do mercado Agbogbloshie, Gana, foram analisadas para avaliar os níveis de concentração de metais a que os trabalhadores estão expostos. O mercado é um local de desmantelamento e de comércio de equipamentos eletroeletrônicos para reuso, e também ocorre o processamento informal dos resíduos e seu despejo. O ar e o solo da região são poluídos, as amostras de ar tinham níveis elevados de alumínio, ferro, zinco, cobre e chumbo (CAYUMIL *et al.,* 2016).

3.9.5. Contaminação do solo por resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

De acordo com *Solving The E-Waste Problem* – StEP (2013), a contaminação do solo por metais é um problema grave em todo o mundo e pode ser potencialmente prejudicial para a saúde humana através da cadeia alimentar.

O Chumbo é um poluente potencialmente tóxico, pois são introduzidos nos sistemas biológicos através dos alimentos, da água, do ar e do solo. De acordo com a USEPA (1996, *apud* StEP, 2013), a remediação é normalmente necessária quando o total de chumbo no solo excede 300-500mg/kg ou quando o chumbo extraído excede 5mg/L.

O alumínio, o cádmio, o manganês e o ferro possuem grande mobilidade no solo, o cobre e o níquel apresentam mobilidade média, enquanto o cobalto e o chumbo tem baixa mobilidade. Um solo acidificado aumenta a mobilização de alguns metais, o que aumenta a sua absorção por plantas. (ANDRADE, 2002).

Vários tipos de contaminantes foram observados em solos e vegetação perto de áreas de gerenciamento inadequado de REEE, e alguns estudos têm confirmado essa contaminação como o realizado em Taizhou, China, com amostras de arroz e solo onde foram analisados 10 metais (arsênio, bário, cobalto, cromo, cobre, mercúrio, manganês, níquel e chumbo) (FU, *et al.* 2008). Os resultados mostraram que o solo agrícola foi contaminado com cádmio - Cd, cobre - Cu e mercúrio - Hg, enquanto as concentrações de chumbo na amostra de arroz estavam acima dos níveis máximos permitidos (FU, *et al.* 2008). Outro estudo, realizado por Luo *et al.* (2011), sobre a contaminação por metais em solos utilizados para queima de REEE mostrou altos níveis de Cd, Cu, Pb e Zn (CAYUMIL, *et al.* 2016).

Foram analisados onze metais em um estudo realizado em Manila, Filipinas, onde amostras de solo provenientes de locais de processamento formal e informal de REEE foram analisadas, e metais (cobre, zinco e chumbo) no solo foram registrados em ambos os locais (CAYUMIL, *et al.* 2016).

3.9.6. Cartuchos de tinta de impressora

Segundo IDC Brasil (2015), em 2015 a venda de equipamentos de impressão foi de 2,5 milhões de máquinas que geraram receita de US$ 676 milhões e o

comercio de impressora de jato de tinta foi de 641,6 mil unidades movimentando US$ 227 milhões.

Dados fornecidos pelo SEBRAE (2008) indicam a expansão do mercado de recarga de cartucho. Segundo o órgão, o crescimento anual médio desse setor é de, 30%, e isso ocorre por conta de fatores como os valores dos cartuchos originais, e pelo pensamento sustentável da população, que tende cada vez mais a evitar o descarte precoce dos cartuchos (SEBRAE, 2008). Ainda segundo o SEBRAE, a comercialização de impressoras apresenta uma alta anual de 20% em média.

No Brasil existem três tipos de cartuchos: os originais novos produzidos pelos fabricantes das impressoras; os compatíveis, que são novos mas produzidos por outros fabricantes; e os remanufaturados. Estes últimos são cartuchos originais vazios reutilizados, após um processo que inclui teste de seus circuitos eletrônicos, remoção dos vestígios da tinta anterior, substituição de peças, recarga e controle de qualidade de impressão (MOURA, *et al.* 2012). A diferença entre um cartucho remanufaturado e um recarregado é o simples fato de encher novamente o cartucho de tinta sem nenhum controle (MOURA, *et al.* 2012).

Segundo a Hewlett-Parckard (2015), durante o processo de remanufatura, os cartuchos são abertos e geralmente colados ou presos juntos novamente. As peças são reutilizadas ou substituídas por componentes não originais. O resíduo sólido gerado durante o processo de remanufatura nem sempre é reciclado. Um estudo da InfoTrends descobriu que 25% dos cartuchos de toner e 40% dos cartuchos de tinta e peças coletados por empresas de remanufatura não eram utilizáveis para remanufatura, frequentemente porque não podiam ser remanufaturados de maneira lucrativa. Dessa quantidade, 90% dos cartuchos de toner e 95% dos cartuchos de tinta e peças vão para aterros sanitários. Muitas empresas de remanufatura não possuem um processo de reciclagem (HEWLETT-PACKARD, 2015).

Segundo MOURA, *et al*. (2012), um cartucho de tinta de impressora não pode ser indefinidamente recarregado, sendo recomendado um máximo de três ciclos. A impossibilidade de recarga é atestada quando se nota que pelo menos

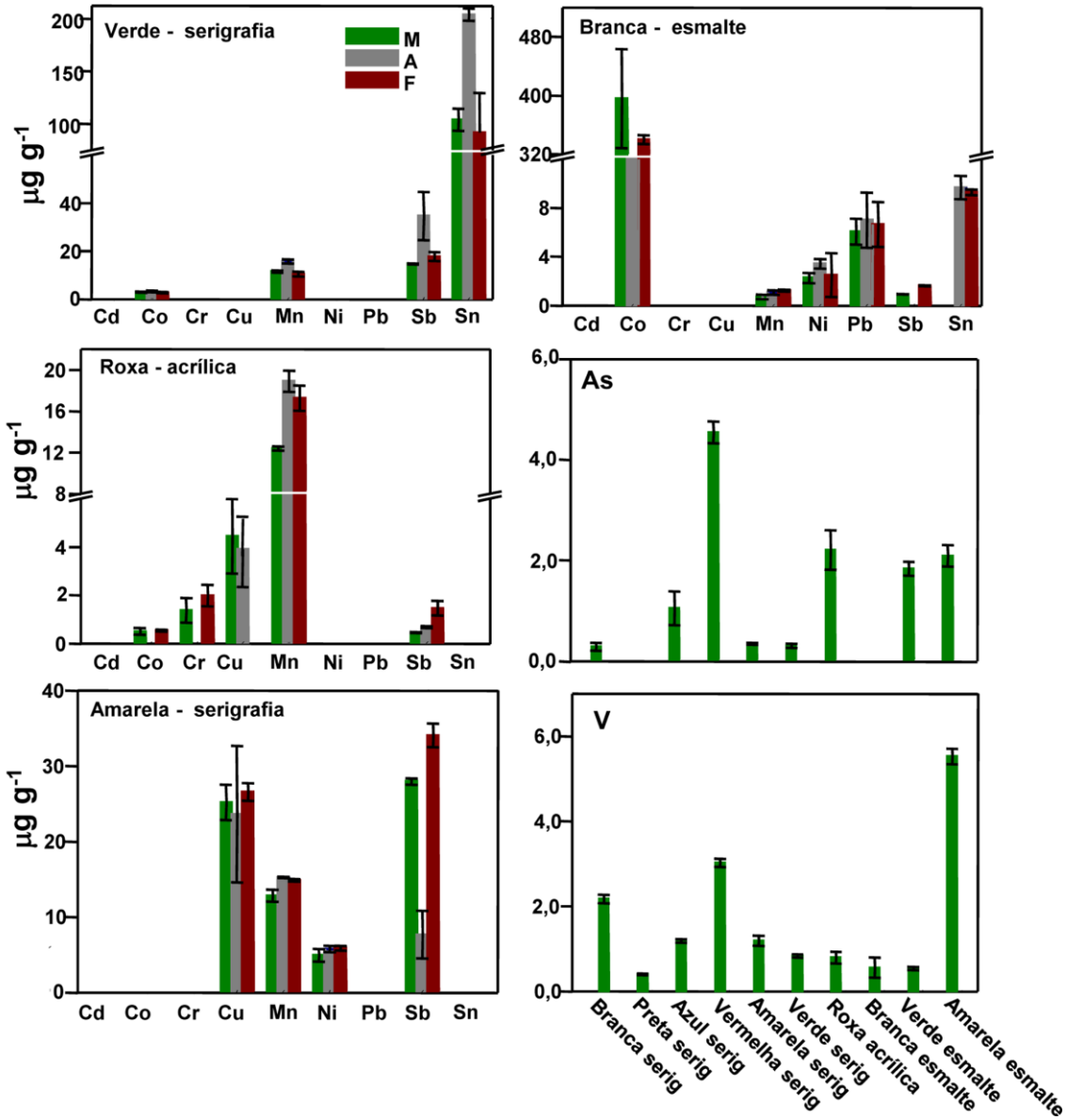
um dos circuitos que conduzem a tinta não responde ao estímulo elétrico de um aparelho de teste. No Brasil, o cartucho não recarregável é geralmente descartado junto com os resíduos sólidos urbanos e esta prática precisa de equacionamento, podendo ser considerada uma lacuna na gestão do produto no Brasil (MOURA, *et. al,* 2012).

Após o ciclo de utilização, os cartuchos são descartados sem gerenciamento, e uma problemática associada está na presença da tinta residual. Segundo Bentlin, Pozebom & Depoi (2009), a preocupação quanto a presença de elementos tóxicos em tintas, utilizadas para diversas finalidades, é crescente. Isto veio à tona em 2007, quando brinquedos infantis foram recolhidos em função do excesso de chumbo na tinta utilizada no acabamento dos mesmo, visto que, os pigmentos inorgânicos são geralmente constituídos por óxidos, cromatos e sulfatos de metais, muitos deles tóxicos (chumbo - Pb, cromo - Cr, cobalto - Co, antimônio - Sb, cádmio - Cd, etc), conferindo diferentes tonalidades de cor às tintas conforme a concentração dos pigmentos (BENTLIN; POZEBON; DEPOI. 2009).

Teotonio & Rossi (2011) desenvolveram o estudo intitulado “Determinação de metais presentes em tintas usadas para tatuagem”, e citam que os pigmentos inorgânicos que conferem diferentes tonalidades de cor às tintas são geralmente constituído por óxidos, cromatos e sulfatos de metais, muitos deles tóxicos (Pb, Cr, Co, Sb, Cd, dentre outros). A quantificação dos metais foi realizada após as amostras passarem por um processo de abertura, por via úmida ou com micro-ondas, e posteriormente pela técnica de espectrotometria de absorção atômica por chama (AAS). Foram determinados nove metais (Cd, Zn, Co, Cr, Mn, Ni, Cu, Pb, Fe) porém o emprego desta técnica possibilitou a determinação da concentração de três metais, são eles: ferro, zinco e cobre. O ferro é encontrado juntamente com outros compostos nas tintas vermelha e preta na forma de seus óxidos, Fe_3O_4 e FeO nas tintas de coloração preta, e Fe_2O_3 nas tintas de coloração vermelha. O zinco é encontrado na forma de seu óxido ZnO nas tintas de coloração branca, porém pode também ser utilizado juntamente com outras cores para que haja uma diluição da intensidade das outras colorações. O cobre é um dos principais componentes presentes nas tintas de coloração azul.

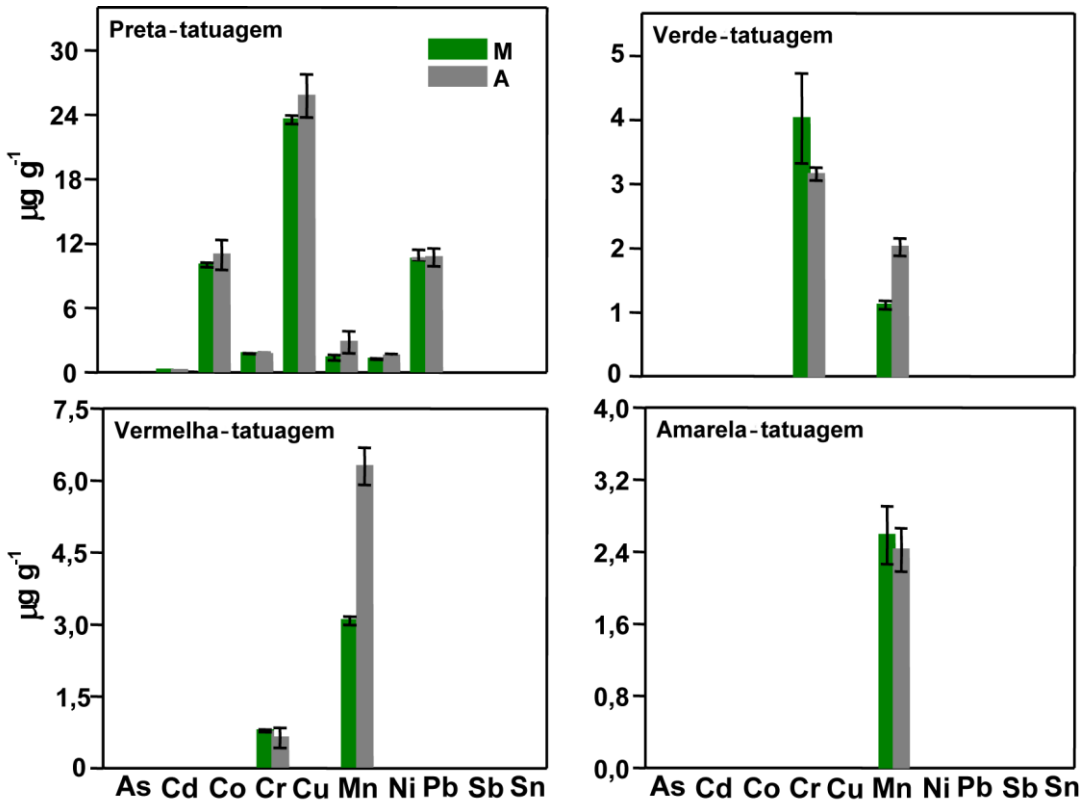
Bentlin, Pozebon & Depoi (2009), realizaram estudo intitulado “Estudo comparativo de métodos de preparo de amostras de tinta para a determinação de metais e metaloides por técnicas de espectrometria atômica”. O objetivo do trabalho foi comparar métodos de decomposição de tintas de diferentes tipos, visando a determinação de elementos traço, minoritários e majoritários, haja vista a complexidade da matriz das amostras e a inexistência de materiais de referência para a maioria dos elementos investigados, três métodos de decomposição foram testados. Foram analisadas tintas de diferentes tipos e cores, para diferentes finalidades. As concentrações dos elementos minoritários e majoritários, que foram determinadas por ICP OES, são mostradas nas Figura 1. As concentrações de Cr, Cu, e Pb, não foram determinadas por ICP OES por serem muito baixas, mas o foram por ICP-MS e são mostradas nas Figuras 1 e 2. Como conclusão, os autores ressaltam que as concentrações de Pb encontradas em algumas tintas para uso em serigrafia (vermelha, verde e amarela) são mais altas que o limite permitido para o Pb (0,06% m/m), reportado na Lei N° 5.334/2005. Contudo, elementos tóxicos como Co e Sb também foram encontrados em algumas tintas.

Figura 1: Concentrações dos elementos determinadas por ICP-MS nas tintas para serigrafia e esmalte.



Fonte: Bentlin, Pozebon & Depoi (2009).

Figura 2: Concentrações dos elementos determinadas por ICP-MS em tintas para tatuagem;



Fonte: Bentlin, Pozebon & Depoi (2009).

Na Figura 1 observa-se que as concentrações de Co e Cu na maioria das tintas analisadas, Cr na tinta azul e Cd na vermelha. Para dois métodos o nível de confiança nos resultados mostrados na Figura 2 tem um nível de confiança de 95%.

Apesar dos estudos supracitados não terem como objeto de estudo os cartuchos de tinta de impressoras, propriamente ditos, com o mesmo foco investigativo, eles são reportados para fins de comparação com o presente estudo, dada a lacuna de publicação, em especial, com relação a aplicação da NBR 10.005 em resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.

4. Materiais e métodos

4.1. Cartuchos de tinta de impressora usados

Os cartuchos de tinta de impressora usados foram coletados na UFES e em lojas de recargas de cartuchos e toners no período de agosto a outubro de 2016, de forma a se obter uma amostra que foi dividida em dois sublotes: Lote A e Lote B.

O Lote A, composto de 66 cartuchos de tinta de 2 modelos diferentes foi utilizado para a determinação da solução de extração. A tinta residual foi extraída manualmente com auxílio de guilhotina para abertura dos cartuchos, totalizando 108,18g.

O Lote B, formado por 32 cartuchos com peso total de 839,59g, foi subdivido em 9 lotes, conforme Tabela 8, e foram utilizados nos ensaios de lixiviação preconizados pela NBR 10.005.

Tabela 8: Descrição dos lotes de cartuchos de tinta de impressora utilizados no ensaio de lixiviação.

Lotes/modelo	Quantidade	Peso total do lote (g)
HP 92	4	92,24
HP 93	3	97,32
HP 60 (preto)	4	100,59
HP 60 (colorido)	3	99,22
HP 74	3	84,62
HP 75	3	95,25
HP 28	2	80,1
HP 662 (preto)	4	98,65
HP 662 (colorido)	3	91,6
Total	32	839,59

Como pode ser observado na Tabela 8, apenas cartuchos da marca HP compõem os 9 lotes devido à dificuldade de obter cartuchos de outras marcas em quantidade suficiente para realização do ensaio de lixiviação.

Os 9 lotes de cartuchos de tinta de impressora são mostrados na Figura 3.

Figura 3: Lotes de cartuchos de tinta de impressoras usados utilizados nos ensaios de lixiviação.

Conforme mostra a Figura 3, a caracterização foi realizada com os cartuchos de tinta inteiros, e não triturados, conforme preconiza a NBR 10.005. A escolha por analisar o cartucho de tinta inteiro tem como objetivo avaliar se ocorre o vazamento da tinta residual, simulando, dessa forma, a possibilidade de contaminação no caso do descarte inadequado. Percebeu – se que na trituração o conteúdo residual de tinta não seria obtido na íntegra, pois poderia - se acumular nas paredes internas do moinho.

4.2. Caracterização ambiental dos cartuchos de tinta de impressora usados segundo a NBR 10.005.

A caracterização dos cartuchos de tinta de impressora usados tem como objetivo avaliar a periculosidade deste resíduo sólido em caso de vazamento da tinta residual. Os ensaios foram realizado no Laboratório de Caracterização Ambiental de Resíduos (LACAR), coordenado pela Profa. Dra. Geilma Lima

Vieira, e localizado na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), no período de janeiro a fevereiro de 2017.

Os 9 lotes de cartuchos foram analisados separadamente seguindo o procedimento descrito na NBR 10.005 e considerando o resíduo como 100% sólido, conforme orientação da norma que considera resíduos de tintas como sólido.

Com intuito de avaliar o descarte do cartucho em relação ao vazamento do resíduo de tinta, e por ser inviável tecnicamente a moagem do cartucho sem perda de amostra, o procedimento foi realizado com o cartucho inteiro. Assim foi possível simular o que acontece quando estes são encaminhados para sua destinação final mais comum, a saber: aterros sanitários e depósitos clandestinos de disposição irregular de resíduos sólidos. Com isso alguns procedimentos descritos na norma foram adaptados e outros foram incluídos e são detalhados a seguir.

4.2.1. Procedimento de descontaminação de vidrarias

Com o intuito de minimizar a contaminação de amostras para a determinação dos metais no ICP OES (Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado), todas as vidrarias utilizadas, seja para o armazenamento das amostras ou para o preparo das soluções, foram previamente descontaminadas com o seguinte procedimento:

1. Lavar normalmente (detergente e água deionizada);
2. Deixar de molho em sabão alcalino de 24 a 48 horas;
3. Lavar com água deionizada;
4. Deixar de molho em ácido nítrico 15%v/v de 24 a 48 horas;
5. Lavar com água tipo 1 (ultrapura);
6. Secar e deixar em local fechado até a utilização.

Os procedimentos de descontaminação de vidrarias seguiram o mesmo protocolo metodológico adotado no Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento de Metodologias para Caracterização de Óleos Pesados (LabPetro) da UFES, coordenado pela Profa. Dra. Maria Tereza Weitzel Dias Carneiro Lima.

4.2.2. Determinação da solução de extração

Para determinar a solução de extração a ser utilizada no ensaio de lixiviação, uma alíquota de 5g de tinta residual removida do Lote A foi transferida para um béquer de 250mL de capacidade nominal, ao qual adicionou-se 96,5mL de água deionizada, cobrindo em seguida com vidro de relógio. A mistura foi agitada por 5min com agitador magnético e ao final, o pH medido foi 1,45.

Como o pH foi menor que 5, a solução de extração determinada foi a n°1, que consiste em adicionar 5,7mL de ácido acético glacial e 64,3mL de NaOH 1,0N, completando com água deionizada o volume para 1L. O pH final da solução extratora deve ser 4,93 ± 0,05.

Ressalta-se que para minimizar a contaminação das amostras e devido à sensibilidade dos equipamentos de quantificação de metais utilizados, o ácido acético foi destilado em um destilador de ácidos, marca Berghof, modelo Distillacid BSB-939-IR, no LabPetro.

4.2.3. Ensaio de Lixiviação segundo a NBR 10.005

Conforme descrito na NBR 10.005, utilizou-se a solução extratora descrita no item 4.2.2 na proporção 1:20, sendo 100g de amostra e 2 litros de solução extratora nº1.

Os Lotes, contendo aproximadamente 100g de cartuchos de tinta inteiros, foram adicionados em frascos de vidro de 2L (previamente descontaminados) de capacidade nominal juntamente com a solução extratora. O frasco foi mantido sob agitação durante 18 ± 2h à temperatura de 25°C com uma rotação de 30 ± 2rpm no agitador rotatório, da marca Tecnolab, modelo TEC AL (vide Figura 4).

Figura 4: Agitador Rotatório utilizado no ensaio de lixiviação segundo a NBR 10.005.

Finalizado o ensaio de lixiviação, a lixívia foi filtrada com papel de filtro quantitativo C42 faixa azul com auxílio de uma bomba de filtração a vácuo (marca Quimis; modelo 09558).

Amostras de aproximadamente 150mL da lixívia filtrada foram retiradas e em cada frasco foi adicionado 1,5mL de HNO_3/L para preservação da amostra.

As amostras foram analisadas respeitando o estabelecido na norma que é de 28 dias para mercúrio e 180 dias para os outros metais. Análises por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES) foram utilizadas para quantificar os metais (As, Ba, Cd, Pb, Cr, Ag, Se) presentes no extrato lixiviado dos cartuchos de tinta inteiros. A quantificação dos metais foi realizada no (LabPetro/UFES) e, para tanto, foi utilizado um equipamento da marca PerkinElmer, modelo Optima 7000DV.

4.3. Classificação dos cartuchos de tinta usados quanto à periculosidade

Com base nos resultados das análises de ICP OES, os lotes de cartuchos de tinta foram classificados de acordo com a NBR 10.004. Nesta norma, periculosidade de um resíduo é conceituada como:

> *"Característica apresentada por um resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, pode apresentar: risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices; risco ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada" (ABNT, 2004).*

Dessa forma, a norma estabelece o limite máximo de metais no extrato lixiviado, apresentado no Anexo F da NBR 10.004, conforme reproduzido na Tabela 9:

Tabela 9: Concentração máxima de metais no extrato obtido no ensaio de lixiviação.

Parâmetro	Limite máximo no lixiviado mg/L
Arsênio	1,0
Bário	70,0
Cádmio	0,5
Chumbo	1,0
Cromo total	5,0
Fluoreto	150,0
Mercúrio	0,1
Prata	5,0
Selênio	1,0

Fonte: ABNT NBR 10004:2004.

Assim, os metais listados na Tabela 9 foram determinados para avaliar a periculosidade dos cartuchos de tinta de impressoras.

5. Resultados e Discussões

5.1. Caracterização ambiental dos cartuchos de tinta de impressora usados segundo a NBR 10.005 e classificação quanto à periculosidade

Após a realização dos ensaios seguindo a metodologia descrita anteriormente, obteve-se os seguintes resultados descritos na Tabela 10.

Tabela 10: Concentração (mg/L) de elementos traço obtidas por ICP OES. Onde LD e LQ equivalem ao limite de detecção e quantificação do método, respectivamente.

Parâmetro	**Amostras**									**LD (mg/L)**	**LQ (mg/L)**	**Limite NBR 10.004 (mg/L)**
	Hp 92	Hp 93	Hp 60 (pt)	Hp 60 (cl.)	Hp 74	Hp 75	Hp 28	Hp 662 (pt.)	Hp 662 (cl.)			
Arsênio	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,054	0,179	1,0
Bário	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0034	0,0132	70,0
Cádmio	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,01	0,03	0,5
Chumbo	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,024	0,08	1,0
Cromo Total	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,005	0,017	5,0
Fluoreto	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	150,0
Mercúrio	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,1
Prata	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,0004	0,0015	5,0
Selênio	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,08	0,26	1,0

* Parâmetro não determinado.

Os parâmetros fluoreto e mercúrio não foram determinados, pois a técnica ICP OES, não tem a sensibilidade apropriada para esses elementos.

A Tabela 10 mostra que todos os metais determinados ficaram abaixo do limite de quantificação do método. Comparando os limites de quantificação da Tabela 10 com os limites da NBR 10.004, verifica-se que, seguindo os procedimentos descritos, para nenhuma amostra da concentração de metais foi acima do limite da NBR 10.004, assim sendo, o resíduo sólido analisado enquadra-se como Resíduos Classe II – não perigoso.

Como citado na revisão bibliográfica, outros estudos também realizaram a caracterização quanto a periculosidade de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, segundo a NBR 10.005. Como não foram identificados em pesquisas bibliográficas estudos que caracterizassem os cartuchos de

impressora, foram utilizados, para fins de comparação, estudos com outros tipos de REEE e seus componentes.

Juckneski (2013) caracterizou seguindo os procedimentos da NBR 10.005 a PCI presente na tela de LCD. A análise do extrato lixiviado mostrou que dentre os elementos analisados todos ficaram abaixo do limite disposto na NBR 10.004, classificando este componente como Classe II – não perigoso. Neste mesmo estudo, Juckneski (2013) analisou outro componente do resíduo, a tela de vidro do LCD e, diferentemente da PCI, o extrato analisado continha um elemento, fluoreto, que ficou acima do limite e então classificando como resíduo Classe I – perigoso.

O resíduo eletroeletrônico em geral é considerado perigoso, por exemplo, no âmbito da Convenção da Basiléia, onde o REEE é considerado perigoso e está, portanto, sujeito a devida regulamentação (ABDI, 2013). Porém como pode ser visto no estudo realizado e no estudo citado anteriormente, nem todos os componentes dos EEE são perigosos.

Apesar da presente pesquisa e do estudo realizado por Juckneski (2013), terem classificado os componentes dos REEE como não perigoso, outros dois estudos que seguiram os procedimentos das Normas Brasileiras para a classificação quanto a periculosidade, obtiveram resultados diferentes.

Dias (2015), caracterizou módulos fotovoltaicos, onde a solução lixiviada analisada mostrou que os elementos fluoreto, prata, cádmio e cromo total, estavam abaixo do limite, porém um único elemento acima do limite caracteriza o resíduo como perigoso, e nesta análise o elemento chumbo estava acima do limite, classificando o resíduo como perigoso, Classe I.

Sant’anna, Moura & Veit (2013) analisaram a PCI assim como Juckneski (2013), porém de telefones celulares, e obtiveram resultados diferentes. Onde assim como Dias (2015), o elemento chumbo encontrava-se acima do limite máximo permitido no lixiviado. Sant’anna, Moura & Veit (2013) classificaram os telefones celulares como resíduo perigoso através do resultado da caracterização da PCI deste resíduo.

Os cartuchos de tinta de impressora usados, a partir da determinação de metais, foram classificados como não perigosos, porém existem outros elementos que podem conferir periculosidade para o resíduo. A poeira de carbono e o negro de fumo produzidos a partir da combustão incompleta de derivados pesados de petróleo, que compõem os cartuchos de tinta de impressora, aparelhos de fax e copiadoras, são substâncias tóxicas que podem contaminar via inalação de poeira, causando comprometimento pulmonar (GOUVEIA, FERRON, KUNO, 2014).

Ressalta-se que o presente trabalho não avaliou a composição polimérica dos cartuchos coletados, apenas a tinta residual, mas a incineração de REEE também é uma prática comum, apesar dos riscos inerentes, prevista inclusive pela Lei Estadual nº 9.941 do Estado do Espírito Santo como uma das formas de tratamento permitida para REEE.

A partir do resultado da classificação quanto à periculosidade, cabe-se colocar algumas ressalvas quanto aos procedimentos seguidos.

5.1.1. Processamento físico dos cartuchos de tinta de impressora usados

Primeiramente, os cartuchos não foram triturados (Figura 5), conforme orienta a NBR 10.005, isto devido à tinta residual presente nos mesmos. Seria inviável a trituração do resíduo tanto por contaminar o moinho, quanto por grande parte da tinta residual ser perdida nesse processo.

Figura 5: Solução extratora com cartuchos de tinta de impressoras inteiros, do lote 1, antes e depois do ensaio de lixiviação.

Dessa forma, ressalta-se que não foi realizada a análise da tinta pura contida nos cartuchos, visto que o objeto de estudo seria exposto diretamente a solução extratora. Podemos encontrar na literatura estudos que fizeram análise dos metais contidos em tinta, contudo estes não seguiram a metodologia da NBR 10.005, e são citados apenas para fins de comparação.

No estudo “Determinação de metais presentes em tintas usadas para tatuagem” realizado por Teotonio & Rossi (2011), todas as amostras passaram por um processo de abertura, por via úmida ou com micro-ondas, em triplicata, para que posteriormente as mesmas fossem analisadas pela técnica de espectrofotometria de absorção atômica por chama (AAS). Foram determinados os metais Cd, Zn, Co, Cr, Mn, Ni, Cu, Pb e Fe, o emprego da técnica possibilitou a determinação de três metais dos nove analisados, foram eles: ferro, zinco e cobre. Como conclusão os autores ressaltam a importância de um maior controle na venda e manuseio das tintas de tatuagem e fiscalização quanto aos pigmentos, que são geralmente constituídos por óxidos, cromatos e sulfatos de metais. Tanto a tinta utilizada em tatuagens quanto a tinta presente nos cartuchos de impressora tem contato direto com a pele e, através do estudo, sabe-se que há presença de metais nas tintas de tatuagem, podendo ter risco de toxicidade e reações imunológicas adversas.

Bentlin, Pozebon & Depoi (2009), realizaram estudo intitulado “Estudo comparativo de métodos de preparo de amostras de tinta para a determinação de metais e metaloides por técnicas de espectrometria atômica”. Foram analisadas tintas de diferentes tipos e cores, para diferentes finalidades. Cabe ressaltar que as concentrações de Cr, Cu e Pb, não foram determinadas por ICP OES por serem muito baixas, mas o foram por ICP-MS. Como conclusão, os autores ressaltam que as concentrações de chumbo encontradas em algumas tintas para uso em serigrafia (vermelha, verde e amarela) são mais altas que o limite permitido para o Pb (0,06% m/m), reportado na Lei N° 5.334/2005.

Porém, como o objetivo do trabalho é caracterização quanto a periculosidade, não caberia a caracterização dos cartuchos de tinta por outra metodologia a não ser das normas NBR 10.004 e NBR 10.005. Contudo, é válido que se determine futuramente os metais presentes na tinta residual pura presente nos cartuchos de impressora usados.

Outro aspecto importante a ser abordado é que o metal mercúrio não pode ser determinado, pois o ICP OES utilizado não tem a sensibilidade suficiente. Para tanto, um ICP-MS poderia ser utilizado, mas o mesmo encontrava-se fora de funcionamento durante a realização do trabalho. A fabricação de tinta está incluída como uma das principais formas de contaminação através do mercúrio por Jung (2004) e Laskoski (2003). As indústrias de cloro-soda, de equipamentos eletroeletrônicos, de fabricação de tintas, entre outras, são consideradas consumidoras de mercúrio, perfazendo 55% do total consumido (JUNG, 2004). Laskoski (2003) cita como algumas das principais formas de contaminação por mercúrio as seguintes atividades: extração do mineral de mercúrio, fabricação de soldas e aparelhos, de tintas, pilhas e acumuladores, recuperação de mercúrio por destilação dos resíduos industriais, entre outros. Em ambos estudos a fabricação de tintas está incluída como uma das principais atividades que consomem mercúrio, o que faz a análise desse metal nos cartuchos de impressora importante para a classificação de periculosidade.

Apesar dos resultados obtidos no ensaios de lixiviação classificarem os cartuchos de tinta analisados como resíduos não perigosos, a falta do resultado

para concentração de mercúrio, bem como da composição dos outros materiais que compõem o cartucho não permitem concluir que os cartuchos de tinta analisados não contenham outros elementos que possam vir a conferir periculosidade. Corroborando com este fato, adicionalmente, podem ser citados alguns documentos que classificam os cartuchos de tinta como perigosos, apesar de não detalhar o processo de classificação.

O Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PGRS, elaborado em 2008 pelo Ministério Público do Estado do Paraná, diz que os cartuchos de impressão/tonner são classificados como resíduos perigosos, tendo em vista os elementos de sua composição e reporta ainda que devido à possível contaminação de suas embalagens, deve-se haver um maior cuidado no seu gerenciamento.

O Manual de Gestão de Resíduos Perigosos elaborado pela Eletrobrás, em 2014, apresenta uma listagem dos principais resíduos perigosos gerados nos diversos processos relacionados às atividades executadas pelas Empresas de Distribuição Eletrobrás. Em atividades administrativas com utilização de material de escritório, os resíduos perigosos citados são: equipamentos eletroeletrônicos, pilhas, baterias, toner, fitas, cartuchos de impressoras e fotocopiadores.

O grupo Fragmaq cita em reportagem com título “Destinação de resíduos perigosos: atenção quanto ao descarte”, publicada em 21 de dezembro de 2012 que pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes, remédios vencidos, embalagens de produtos inseticidas, latas de tinta, cartuchos de tinta de impressora, tonners, óleos vegetais e minerais queimados, pneus, dentre outros artefatos, são classificados como resíduos perigosos.

Em comum, os estudos e reportagens supracitados, não fazem referência a nenhuma metodologia para classificação quanto à periculosidade dos cartuchos de impressora, o que demonstra a carência de metodologias padronizadas e específicas para a classificação dos REEE, de forma geral, em virtude das particularidades deste tipo de resíduo sólido.

A classificação de periculosidade incompleta ou incorreta acarreta na falta de informação sobre o procedimento adequado para o tratamento e/ou a disposição final dos cartuchos de tinta usados e faz com que os consumidores e, principalmente, os estabelecimentos que fazem a recarga dos cartuchos de tinta, conforme observado na fase de coleta do resíduo, acumulem os mesmos por desconhecer as formas de gerenciamento.

5.1.2. Logística reversa dos cartuchos de impressora usados

A partir da caracterização dos cartuchos de impressora como um resíduo não perigoso, pode-se citar algumas implicações para essa classificação, como a logística reversa.

A logística reversa é o elo entre o consumo e a reciclagem (MOURÃO & SEO, 2012). E para transporte de resíduos perigosos são necessárias licenças, cumprimento de normativas de segurança e controles ambientais, os quais variam entre os estados brasileiros, dificultando ainda mais a padronização da logística (MOURÃO & SEO, 2012).

De acordo com Sigrist *et al.* (2015), a coleta e o transporte dos REEE a um destino resultam nos principais custos de todo o processo de recuperação dos mesmos. Esses custos podem apresentar impactos significativos quando se leva em consideração o investimento necessário para as campanhas de conscientização dos consumidores a respeito da importância da reciclagem dos REEE (SIGRIST *et al.*, 2015).

Portanto, as diferentes maneiras de enquadrar os materiais (na forma de produtos, resíduos ou rejeitos; e se considerados perigosos ou inertes) vão acarretar em diferentes obrigações de segurança ambiental e laboral - incluindo a exigência de licenciamento dos pontos de recebimento, a fiscalização sobre seu transporte, o uso de equipamentos de proteção, a eventual remuneração por insalubridade e outras (ABDI, 2013).

5.1.3. Reciclagem de cartuchos de impressora usados

Todos os cartuchos que foram utilizados nesse estudos são da marca HP, visto que foram encontrados em quantidade e variedade nas lojas de recarga e na UFES.

A HP possui um programa para devolução de cartuchos chamado HP Planet Partners, onde através de uma ferramenta no site da empresa é possível encontrar um ponto de devolução mais próximo ou quando se tem mais que cinco cartuchos, pode-se solicitar o recolhimento com posterior emissão de certificado de destinação correta (HP, 2017a). No Espírito Santo os pontos de devolução localizam-se no município de Vila Velha, na loja Kalunga e no supermercado Carrefour, em ambos pontos a HP recolhe os cartuchos semanalmente.

Uma vez recolhido volume considerável de cartuchos, estes são encaminhados para o Centro de Reciclagem da HP, onde as matérias-primas são processadas para produzir novos cartuchos, partes e peças de impressoras HP e outros itens para diversos segmentos industriais. Desde 1987, o HP Planet Partners reciclou mais de 1,53 milhões de toneladas de produtos (HP, 2017b).

A HP alcançou em 2010 a produção de 1 bilhão de cartuchos de tinta HP contendo plástico reciclado (HIERONYMI, 2012). Os novos cartuchos são feitos de plástico recuperado de cartuchos de tinta usados e garrafas plásticas. Como resultado, a HP estima que isso manteve 1,46 bilhões de itens fora de aterros sanitários, incluindo 1,3 bilhões de garrafas de plástico e 160 milhões de cartuchos de tinta. (HIERONYMI, 2012).

6. Conclusão

Com a realização do ensaio de lixiviação seguindo a NBR 10.005, com modificações, a análise por ICP OES mostrou que os metais arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo total, prata e selênio estão abaixo do limite determinado na NBR 10.004, sendo portanto classificado como resíduo não perigoso, apesar dos cartuchos de tinta serem comumente reportados como resíduos perigosos.

A classificação de periculosidade dos cartuchos de tinta estudados focou no vazamento de tinta residual, porém não contemplou a análise dos parâmetros fluoreto e mercúrio devido à dificuldades técnicas, bem como da composição dos materiais que compõe a carcaça do cartucho, que também podem influenciar na classificação.

A periculosidade de um resíduo sólido, como os cartuchos de tinta usados, implica diretamente no gerenciamento do mesmo, e a falta desta informação pode acarretar no acúmulo desnecessário e no tratamento e/ou disposição final inadequados. Além disso, outra implicação se relaciona com a logística reversa, visto que resíduos considerados perigosos exigem licenças e normas para que possam ser transportados, encarecendo ainda mais a logística reversa.

Todos os cartuchos de tinta de impressora analisados são da marca Hewlett Packard (HP), que possui um programa de logística reversa para seus cartuchos, a partir de ferramentas de coleta e entrega dos cartuchos disponibilizados no site da empresa, no entanto, mesmo com essa ferramenta disponível, na etapa de coleta dos cartuchos verificou-se que os estabelecimentos não tem conhecimento sobre esse programa visto a grande quantidade acumulada e ainda, no Espírito Santo, verificou-se que o funcionamento é eficaz e ocorre em dois pontos no município de Vila Velha.

Como recomendação, pela impossibilidade do resíduo ser triturado, a tinta residual presente nos cartuchos de tinta de impressora usados, não foi exposta diretamente a solução extratora ficando como sugestão para futuros trabalhos a análise da tinta residual pura, dos parâmetros mercúrio e fluoreto, além do

estudo da composição dos outros materiais que compõem os cartuchos de tinta, em especial, os poliméricos.

7. Referências

1. Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica - ABINEE. **A Indústria Elétrica e Eletrônica Impulsionando a Economia Verde e a Sustentabilidade.** Rio de Janeiro, 32 f., 2012.

2. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABDI (Org.). **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos:** Análise da Viabilidade Técnica e Econômica. Brasília, 179 f., 2013.
3. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABDI (Org.). **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos:** Análise da Viabilidade Técnica e Econômica. Brasília, 202 f., 2012.
4. ANDRADE, R. **Caracterização e classificação de placas de circuito impresso de computadores como resíduos sólidos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. 143f. 2002.
5. ARAÚJO, M. G. **Modelo de avaliação do ciclo de vida para a gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil.** 217f. Tese de doutorado, Programa de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
6. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (Org.). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014.** 120 f. São Paulo: Grappa, 2014. p. 64. 2014.
7. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR nº 10.004, de 30 de novembro de 2004. **Resíduos Sólidos - Classificação**. 2. ed. Brasil.
8. Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT. NBR nº 10.005, de 30 de novembro de 2004. **Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. 2. ed. Brasil.
9. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR nº 16.156. **Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – requisitos para atividade de manufatura reversa**. Brasil, 2013.

10. BALDÉ, C.P.; WANG, F.; KUEHR, R.; HUISMAN, J. **The global e-waste monitor – 2014.** United Nations University, IAS-SCYCLE, Bonn, Germany. 80f. 2015.

11. BALLAM, M. **Políticas de Resíduos Sólidos no Brasil:** Brasília: 2º Gt Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos – REEES, 2010. 16 slides, color. Apresentado na 2º GT Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos – REEE.
12. BENTLIN, F. R. S.; POZEBON, D.; DEPOI, F. S. Estudo comparativo de métodos de preparo de amostras de tinta para a determinação de metais

e metaloides por técnicas de espectrometria atômica. **Química Nova**, vol. 32. n. 4. p. 884-890. 2009.

13. BILITEWSKI, B.; DARBRA, R. M.; BARCELO, D. **Global Risk-Based Management of Chemical Additives. In:** Production, Usage and Environmental Occurrence. Barcelona: Springer, 290 p., 2012.
14. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População do Brasil.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso em: 18/08/2016.
15. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.
16. CARVALHO, P. P.; PEREIRA, R. S.; GUEVARA, A. J. H.; GARCIA, M. N. **Equipamentos eletroeletrônicos: um estudo sobre o processo de descarte nas prefeitura do Grande ABC Paulista.** Apresentado no IX Ciclo de Debates em Economia Indústria, Trabalho e Tecnologia, PUC – Pontifica Universidade Católica, São Paulo, 2011.
17. CAUDURO, F. **Avaliação experimental de procedimentos de lixiviação de resíduos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Tecnologias de Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 97f. 2003.
18. CAYUMIL, R.; KHANNA, R.; RAJARAO, R.; IKRAM-UL-HAQ, M.; MUKHERJEE, P. S.; SAHAJWALLA, V. **Chapter 2 – Environmental impact of processing electronic waste-key issues and challenges.** p. 10-35. In: World's largest Science, Technology & Medicine open access book publisher**.** Intech. 2016.
19. CIROTTO, M. F. S. **Abordagem do correto descarte de cartuchos de tinta e toners por meio de cartilha educativa.** Trabalho de conclusão do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas. 15f. 2013.
20. CROWE, M.; ELSER, A; GOPFERT, B.; MERTINS, L.; MEYER, T.; SCHMID, J.; SPILLNER, A.; STROBEL, R. **Waste from electrical and electronic equipment (WEEE): quantities, dangerous substances and treatment methods.** Copenhague: Europe Environment Agency, p.80, 2003.
21. CUI, J.; FORSSBERG, E. Mechanical recycling of waste eletric and eletronic equipment: a review. **Journal of Hazardous Materials.** vol. 99. n. 3**.** p. 244-263. 2003.
22. DIAS, P. R. **Caracterização e reciclagem de materiais de módulos fotovoltaicos (painéis solares).** Dissertação de Mestrado em Engenharia. Ciência e tecnologia de materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 83f. 2015.

23. ELETROBRAS. **Manual de gestão de resíduos perigosos.** 119f. Rio de Janeiro, 2014.
24. ESPÍRITO SANTO. Lei nº 9.264, de 29 de novembro de 2012**. Dispõe sobre normas e procedimentos para a coleta seletiva, o gerenciamento e a destinação final do "lixo tecnológico" no eEstado e dá outras providências.** Vitória, ES.

25. FRAGMAQ. **Destinação de resíduos perigosos: atenção quanto ao descarte!** Publicado em 21 de dezembro de 2012. Disponível em <http://www.fragmaq.com.br/blog/destinacao-de-residuos-perigosos/>. Acesso em: 02/07/2017.
26. FRÉSCA, F. R. C. **Estudo da geração dos resíduos sólidos domiciliares no município de São Carlos, SP, a partir da caracterização física.** Dissertação (Mestrado), Ciências da Engenharia Ambiental, USP – Universidade de São Paulo, São Carlos, 133f. 2007.
27. FURUKAWA, H. **Status of Japanese E-Waste:** Wiesbaden: Ecologynet Europe Gmbh, 2012. 39 slides, color. Apresentado na EcologyNet Europe GmbH.
28. GERBASE, A. E.; OLIVEIRA, C. R. Reciclagem do lixo de informática: uma oportunidade para a química. **Química Nova**. vol.35, n.7, p. 1486-1492. 2012.

29. GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde Coletiva.** vol.17, n. 6, p. 1503-1510. 2012.
30. GOUVEIA, N.; FERRON, M. M.; KUNO, R. **Os impactos dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos na saúde.** In: CARVALHO, T. C. M. B.; XAVIER, L. H. Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos. 1 Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014, p. 113-128.

31. HEWLETT-PACKARD (HP). **Remanufatura não é reciclagem.** Disponível em: <http://www8.hp.com/h20195/v2/GetPDF.aspx/4AA5-6132PTL.pdf>. Acesso em 07/11/2016.

32. HIERONMYMI, K. **Chapter 27 – Hewlett-Packard's WEEE management strategy.** p. 613-637. In: GOODSHIP, V. & STEVELS. A. Waste electrical and electronic equipment (WEEE) handbook. Woodhead Publishing. 723p. 2012.
33. HEWLETT-PACKARD (HP). **HP Planet Partners Brasil.** Disponível em: <http://www8.hp.com/br/pt/ads/planet-partners/index.html>. Acesso em: 02/07/2017a.
34. HEWLETT-PACKARD (HP). **Programa de reciclagem HP.** Disponível em: <http://www8.hp.com/br/pt/hp-information/environment/product-recycling.html>. Acesso em: 02/07/2017b.
35. IDC – International Data Corporation. **Pesquisa da IDC Brasil revela que o mercado de impressão apresentou queda no primeiro**

semestre de 2015. Disponível em: < http://br.idclatin.com/releases/news.aspx?id=1928>. Acesso em 19/08/2016.

36. JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados.** n.71. p. 135-158. 2001.
37. JUCHNESKI, N.C.F. **Monitores de LCD: caracterização dos materiais e processamento mecânico das placas de circuito impresso.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 98f. 2013.

38. JUNG, A. **Avaliação do risco de exposição ao mercúrio elementar em uma unidade de terapia intensiva.** Dissertação de mestrado profissionalizante em engenharia. Porto Alegre, 2004.
39. JÚNIOR, S. S. H.; MOURA, F. P.; CORREA, R. S.; AFONSO, J.C. Processamento de placas de circuito impresso de equipamentos eletroeletrônicos de pequeno porte. **Química Nova**. v. 36. n. 4. p. 570-576. 2013.

40. KOBAL, A. B. C. **Cadeia de suprimento e cadeia reversa: um estudo do setor de resíduos eletroeletrônico brasileiro.** Dissertação de Mestrado em Administração e Controladoria. Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia e Administração. 185f. 2013.

41. LASKOSKI, C. **Metais pesados mercúrio e chumbo.** Trabalho de conclusão de curso de Farmácia da Universidade Tuiuti do Paraná. 31f. 2003.
42. LIU, T.; WU, Y.; TIAN, X.; GONG, Y. Urban household solid waste generation and collection in Beijing, China. **Resources, Conservation And Recycling.** vol. 104. p.32-37, 2015.
43. LOPES, A. A. **Estudo da gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos na bacia Tietê-Jacaré (UGRHI-13).** Tese de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 370f. 2007.

44. MACCAN, D.; WITTMAN, A. **E-waste Prevention, Take-back System Design and Policy Approaches.** Solving the E-Waste Problem (Step) Green Paper. 87f. 2015.
45. MATO GROSSO. Lei nº 8876, de 16 de maio de 2008. Dispõe sobre a coleta, reutilização, reciclagem, tratamento e destinação final do lixo tecnológico no Estado de Mato Grosso, e estabelece outras providências. Mato Grosso, MT.
46. MATTOS, K. M. C.; MATTOS, K. M. C.; PERALES, W. J. S. **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. p.10. Rio de Janeiro. 2008.

47. Ministério do Meio Ambiente**. Convenção de Basiléia**. Disponível em**:** <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/convencao-de-basileia>. Acesso em: 28/05/2016**.**

48. MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO PARANÁ. **Plano de gerenciamento de resíduos sólidos – PGRS.** 96f. Curitiba, 2008.
49. MOURA, F. P.; OLIVEIRA, R. S.; AFONSO, J. C.; VIANNA, C. A.; MANTOVANO, J. L. Processamento de cartuchos de impressora de jato de tinta: um exemplo de gestão pós-consumo. **Química Nova**. vol. 35, n.7, p. 1271-1275. 2012.

50. MOURÃO, R. F.; SEO, E. S. M.; Logística reversa de lâmpada fluorescentes. **Revista de saúde, meio ambiente e sustentabilidade.** v.7, n.3. 19f. 2012.
51. 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. **3º International Workshop Advancedes in Cleaner Production.** São Paulo, Brazil. p.9. 2011.

52. NNOROM, I. C.; OSIBANJO, O. Overview of electronic waste (e-waste) management practices and legislations, and their poor applications in the developing countries. **Resources, Conservation and Recycling.** vol. 52. n. 6. p.844-857, 2008.
53. PAIVA, A. L. O. **Gestão de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: As implicações da logística reversa no Brasil.** Trabalho de Conclusão de Curso em Gestão de Políticas Públicas. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. p.54. 2013.
54. PARANÁ. Lei nº 15851, de 10 de junho de 2008. Dispõe que as empresas produtoras, distribuidoras e que comercializam equipamentos de informática, instaladas no Estado do Paraná, ficam obrigadas a criar e manter o Programa de Recolhimento, Reciclagem ou Destruição de Equipamentos de Informática, sem causar poluição ambiental, conforme especifica. Curitiba, PR.
55. PARK, Y. N.; FRAY, D. J. Recovery of high purity precious metals from printed circuit boards. **Journal of Hazardous Materials,** vol.164, p. 1152-1158. 2008.

56. PINHEIRO, B. C. A.; ABREU, V.; MACHADO, P.; SOUSA, S. F. Caracterização e classificação de resíduo gerado na indústria de metal-mecânica. **Revista Analytica.** n.66, p. 64-69. 2013.

57. PINHEIRO, E. L.; MONTEIRO, M. A.; ALMEIDA, N. N.; FRANCO, R. G. F.; PORTUGAL, S. M. **Plano de gerenciamento integrado de resíduos**

de equipamentos elétricos e eletrônicos – PGIREEE. Belo Horizonte – Minas sem lixões. 2009.

58. Portal resíduos sólidos. **Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – REEE.** Disponível em: <http://www.portalresiduossolidos.com/residuos-de-equipamentos-eletro-eletronicos-reee/>. Acesso em: 28/05/2016.

59. REIDLER, N. M. V. L. **Resíduos de equipamentos elétrico e eletrônicos em instituições de ensino superior: estudo de caso de diretrizes para a gestão integrada.** Tese de Doutorado em Saúde Pública. Faculdade de Saúde Pública da USP. São Paulo. 2012.
60. RIBEIRO, P. P. M. **Concentração de metais em placas de circuito impresso de computadores descartados.** 54 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
61. RIO DE JANEIRO. Lei nº 1937, de 16 de agosto de 2004. Determina o estabelecimento de normas e procedimentos para o gerenciamento e destinação de lixo tecnológico e dá outras providências. Rio de Janeiro, RJ.

62. ROCHA, G. H. T.; GOMES, F. V. B.; PORTE, M. S.; PORTUGAL, S. M.; ALMEIDA, R. N.; RIBEIRO, J. C. J.; **Diagnóstico de Geração de Resíduos Eletroeletrônicos no Estado de Minas Gerais.** 85 f. 2009.

63. RODRIGUES, A. C. **Impactos socioambientais dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: estudo da cadeia pós-consumo no Brasil.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Metodista de Piracicaba, Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo. Santa Bárbara d'Oeste, SP. 321 f. 2007.
64. RODRIGUES, A. C. **Fluxo domiciliar de geração e destinação de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no município de São Paulo/SP: caracterização e subsídios para políticas públicas.** 246f. Tese (Doutorado) - Departamento de Ciências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 247 f., 2012.

65. RODRIGUES, A. C; GUNTHER, W. M. R.; BOSCOV, M. E. G. **Estimativa da geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos de ordem domiciliar: proposição de método e aplicação ao município de São Paulo, São Paulo, Brasil.** Engenharia Sanitária Ambiental, v.20, n.3 p. 437-447. 2015.
66. 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.** São Paulo, v.10, n.3. p. 231-238. 2013.

67. SANT'ANNA, L. T.; MACHADO, R. T. M.; BRITO, M. J. Os resíduos eletroeletrônicos no Brasil e no exterior: diferenças legais e a premência de uma normatização mundial. **Revista de Gestão Social e Ambiental – RGSA.** São Paulo, v.8, n.1, p. 37-53. 2014.
68. SÃO PAULO. Lei nº 13.576, de 06 de julho de 2009. Institui normas e procedimentos para a reciclagem, gerenciamento e destinação final de lixo tecnológico**.** São Paulo, SP.
69. SÃO PAULO. Resolução nº SMA-038, de 02 de agosto de 2011. Estabelece a relação de produtos geradores de resíduos de significativo impacto ambiental, para fins do disposto no artigo 19, do Decreto Estadual nº 54.645, de 05.08.2009, que regulamenta a Lei Estadual nº 12.300, de 16.03.2006, e dá providências correlatas. São Paulo, SP.
70. SCHALCH, V.; CÓRDOBA, R.E. **Estratégia para gestão de resíduos sólidos.** Material didático elaborado para a disciplina de Sistema de Gestão Ambiental (CD-ROM). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Calos, SP. 2009.
71. SEBRAE/ES. **Empresa de remanufatura de cartucho**. UCA – Unidade de Captação de Recursos & Atendimento. p. 10. 2008.
72. SERAFIM, M.; MAIA, M. **Capítulo 4 - Tratamento do resíduo eletrônico na perspectiva da inclusão social**. p. 85-112. In: COSTA, A. B. (org) Tecnologia Social & Políticas Públicas. São Paulo: Instituto Pólis; Brasília: Fundação Banco do Brasil, 284p., 2013.
73. SIGRIST, C. S. L.; FONSECA, L. F. B.; VEIGA, J. M.; PAIVA, J. M. F.; MORIS, V. A. S. Desenvolvimento de ponto de coleta de resíduos eletroeletrônicos. **Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental.** v.19, n.2, p. 1423-1438. 2015.
74. Solving The E-waste Problem - StEP (Org.). **Recycling - From E-waste to Resources.** 120 f., 2009.
75. Solving The E-waste Problem - StEP (Org.). **Solving the e-waste problem: An interdisciplinary compilation of international e-waste research. United Nations University Press.** 208f. 2013.
76. Solving The E-waste Problem – StEP. **Recommendations for standards development for collection, storage, transport and treatment of e-waste**. 43f. 2014.
77. STHUANNOPKAO, S.; WONG, M.H. Handling e-waste in developed and developing countries: Initiatives, practices, and consequences. **Science of The Total Environment.** vol. 463-464. p. 1147-1153. 2012.
78. TANIMOTO, A. H.; DURANY, X. G.; VILLALBA, G.; PIRES, A. C. Material flow accounting of the copper cycle in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling.** vol. 55. p. 20-28. 2010.

79. TEOTONIO, B. L.; ROSSI, M. V. **Determinação de metais presentes em tintas usadas para tatuagem.** VII Jornada de Iniciação Cientifica. 15f. 2011.
80. TORRES, V.; BORGER, F. G. Capítulo 7 – Política Nacional de Resíduos Sólidos e seus desafios para a indústria de eletroeletrônicos: estudo de caso Hewlett Packard Brasil. p. 149-171. In: KRUGLIAMSKAS, I. & PINSKY, V.C. **Gestão Estratégica da Sustentabilidade – Experiências Brasileiras.** Elsevier. 229p., 2014.
81. TROMBINI, F.; GOMES, O. V. O. **Reaproveitamento de resíduos de equipamentos eletro-eletrônicos – REEE – uma visão sobre o trabalho dos artesãos e os impactos sobre a saúde e o meio ambiente.** Apresentado no IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Salvador/BA. p. 10. 2013.
82. UNIÃO EUROPÉIA. 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.
83. UNIÃO EUROPÉIA. Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE).
84. UNIÃO EUROPÉIA. Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment.
85. UNIÃO EUROPÉIA. Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE).
86. United Nations University - UNU (Org.). **E-waste statistics: Guidelines on classification, reporting and indicators**, 52 f. Bonn, 2015.
87. USGS. U.S. (United States) Geological Survey. **Mineral Commodity Summaries 2014**. p. 196. 2014.
88. VEIT, H. M., **Reciclagem de Cobre de Sucatas de Placas de Circuito Impresso**. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 101f. 2005.

8. Apêndice A