

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS – EESC
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO**

CARLOS MATHEUS DA SILVA CARREIRA

**RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS: REVISÃO DE
LITERATURA SOBRE O PANORAMA MUNDIAL E OS PRINCIPAIS DESAFIOS.**

SÃO CARLOS (SP)
2020

CARLOS MATHEUS DA SILVA CARREIRA

**RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS: REVISÃO DE
LITERATURA SOBRE O PANORAMA MUNDIAL E OS PRINCIPAIS DESAFIOS.**

Trabalho de Graduação apresentado
a Escola de Engenharia de São
Carlos para obtenção do título de
Engenharia Ambiental.

Orientador:

Prof. Dr. Valdir Schalch

SÃO CARLOS (SP)

2020

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

D311r da Silva Carreira, Carlos Matheus
 RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS:
 REVISÃO DE LITERATURA SOBRE O PANORAMA MUNDIAL E OS
 PRINCIPAIS DESAFIOS. / Carlos Matheus da Silva
 Carreira; orientador Valdir Schalch; coorientador Túlio
 Queijo de Lima. São Carlos, 2020.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de
São Paulo, 2020.

1. REEE. 2. Gerenciamento de REEE. 3. Gestão de
Resíduos. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): Carlos Matheus da Silva Carreira

Data da Defesa: 26/11/2020

Comissão Julgadora:

Valdir Schalch (Orientador(a))

Túlio Queijo de Lima

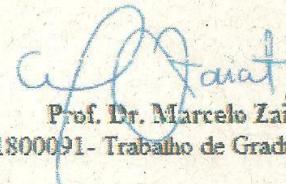
Marco Aurélio Soares de Castro

Resultado:

APROVADO

APROVADO

APROVADO



Prof. Dr. Marcelo Zaiat
Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por minha vida, por ter me sustentado em todas as dificuldades que encontrei nessa jornada e ter me fornecido luz nos momentos mais escuros.

Agradeço ao professor Dr. Valdir Schalch e ao Túlio Queijo de Lima por toda orientação técnica fornecida para que este trabalho fosse possível, desde a formatação ao conteúdo.

Agradeço a meus pais que me apoiaram financeiramente e tornaram esse sonho possível.

Aos meus amigos de faculdade que muitas vezes me ajudaram e tornaram o caminho muito mais leve e alegre.

A Eng. Gabriela Oviedo por ter me auxiliado no início com muitas orientações de pesquisa.

Ao meu pai professor Esp. Carlos Manuel, por ter me dado auxílio com a revisão da escrita.

RESUMO

CARREIRA, Carlos Matheus da Silva. **Resíduos Eletrônicos: Revisão de literatura sobre o panorama mundial e os principais desafios.** 2020. 40 f. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

Os REEE atualmente são um problema ambiental, dada a composição deles, tendo em sua constituição química substâncias tóxicas e perigosas, bem como devido à grande quantidade produzida e descartada todos os anos. O aumento do uso da internet em todo o globo terrestre bem como o fato da tecnologia destes aparelhos rapidamente se tornar obsoleta (fazendo com que estes sejam substituídos em poucos anos de uso) resulta em uma produção crescente desse tipo de resíduo. Além de ser um problema ambiental, os REEE são simultaneamente uma oportunidade de negócio devido a quantidade de substâncias de alto valor em sua composição, mostrando um valor agregado que pode ser atrativo para empresas quando tem suas peças separadas. Foram apresentados alguns dados acerca da produção total, produção per capita, taxa de coleta e taxa de reciclagem de REEE de algumas nações, com a finalidade de informar o leitor acerca dos números que sejam pertinentes para a compreensão do atual panorama deste tipo de resíduo. Constatou-se que apesar de muitos países possuírem legislação vigente, muitos destes não tinham um bom gerenciamento, uma boa taxa de coleta e reciclagem dos REEE. O estudo verificou que basicamente o que faz a diferença para que a legislação gere resultados positivos é a implementação dela. Algumas políticas como responsabilidade estendida ao produtor, e taxa de reciclagem avançada, são pontos em comum de países que apresentavam bons resultados de coleta e reciclagem dos resíduos estudados neste trabalho.

Palavras-chave: REEE, Gerenciamento de REEE, Gestão de Resíduos, REEE, Reuso, Reciclagem.

ABSTRACT

CARREIRA, Carlos Matheus da Silva. Electronic Waste: **Literature review on the world outlook and the main challenges**. 2020. 40 f. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

Waste electrical and electronic equipment is currently an environmental problem, given its composition, having toxic and dangerous chemical substances in its constitution, as well as due to the large quantity and discarded every year. The increase in internet use across the globe as well as the fact that the technology of these devices quickly becomes obsolete (causing them to be replaced in a few years of use) results in an increasing production of this type of waste. In addition to being an environmental problem, electronic waste is simultaneously a business opportunity due to the amount of high-value substances in its composition, showing an added value that can be attractive to companies when they have separate parts. There were some data related to the total production, production per capita, collection rate and recycling rate of WEEE from some nations, with the source of information to the reader about the numbers that are important for understanding the current panorama of this type of waste. It was found that although many countries have current legislation, many of them did not have good management, a good rate of collection and recycling of WEEE. The study found that basically what makes the difference for legislation to generate positive results is its implementation. Some policies, such as responsibility extended to the producer, and advanced recycling fee, are common points in countries that presented good results in the collection and recycling of waste studied in this work.

Keywords: WEEE, Electronic Waste, WEEE Management, Waste Management, Waste Electrical and Electronic Equipment, Reuse, Recycling.

LISTA DE TABELAS:

Tabela 1 - Linhas de Segmento dos Equipamentos Elétricos no Brasil	4
Tabela 2 - Elementos perigosos encontrados em componentes eletrônicos.....	5
Tabela 3 - Composição média dos REEE	6
Tabela 4 - Geração de resíduo eletrônico mundial e em países selecionados.....	7
Tabela 5 - Taxa média do crescimento anual de equipamentos eletroeletrônicos por grupo de países, por paridade do poder de compra.....	14
Tabela 6 - Principais materiais nos REEE no mundo e seu valor potencial em 2016.....	19
Tabela 7 - Produção primária e valor potencial de REEE no Brasil em 2016.....	20
Tabela 8 - Consumo de energia e uso de água na mineração tradicional e na mineração urbana	21
Tabela 9 - Ciclo fechado na manufatura do plástico na HP	25
Tabela 10 - Comparação de gerenciamento de resíduos em países desenvolvidos e em desenvolvimento	26
Tabela 11 - Comparativo dos países e suas características relacionadas a REEE.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tendências globais de utilização de tecnologias	12
Figura 2 - Produção mundial de REEE por ano.....	13
Figura 3 - Economia Circular - Um sistema industrial que é restaurativo por definição	16
Figura 4 - Caixa de coleta instalada na Universidade de Monash (a) e a caixa projetada para funcionar como teste (b).....	28
Figura 5 - Exemplo das caixas de coleta de REEE.....	29
Figura 6 - Visão geral do gerenciamento de REEE em Bangladesh.....	30
Figura 7 - O sistema de gerenciamento de REEE na Índia.....	33
Figura 8 - Destino dado aos aparelhos domésticos ao final da primeira vida útil	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

REEE – Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos.

REP – Responsabilidade Estendida ao Produtor.

RC – Responsabilidade Compartilhada.

TRA – Taxa de Reciclagem Avançada.

PPP – Princípio do Poluidor Pagador.

CPU – *Central Process Unit* (Unidade Central de Processamento).

GPS – *Global Positioning System* (Sistema Global de Posicionamento).

CRT – *Cathode-Ray Tube* (Tubo de Raio Catódico).

UNU – *United Nations University* (Universidade das Nações Unidas)

ITU - *International Telecommunication Union* (União Internacional de Telecomunicação).

ISWA - *International Solid Waste Association* (Associação Internacional de Resíduos Sólidos)

RCD - Resíduos de Construção e Demolição.

EASAC - *European Academies' Science Advisory Council* (Conselho Científico das Academias Europeias).

HP - Hewlett Packard.

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano.

VPN – *Virtual Private Network* (Rede Privada Virtual).

EMF – *Ellen MacArthur Foundation* (Fundação Ellen MacArthur).

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - OBJETIVOS	3
2.1 - Objetivo geral	3
2.2 - Objetivos específicos.....	3
3 - REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 – REEE: classificação.....	4
3.2 – Composição.....	5
3.3 - Cenário atual	6
3.4 - Metas para o desenvolvimento sustentável	10
3.5 - Tendências Globais	11
3.6 - Logística Reversa.....	14
3.7 - Economia Circular.....	15
3.7.1 - Mineração Urbana.....	19
3.8 – Análise comportamental: economia circular	22
3.9 - Modelos de Gerenciamento de Resíduo Sólidos	23
3.9.1 - O modelo de economia circular aplicado à Hewlett-Packard (HP).....	24
3.9.2 - Reciclagem de REEE em países com diferentes níveis de desenvolvimento...26	
3.9.3 - Malásia: Sistemas Inteligentes de Coleta de REEE.....	27
3.9.4 - Bangladesh	29
3.9.5 - Europa	30
3.9.6- Suécia: Altos índices de recuperação de REEE	31
3.9.8 - Índia	32
3.9.9 - Brasil	34
3.9.10 – Estados Unidos.....	35
3.9.11 – Japão	36
4 - MATERIAL E MÉTODOS	37
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
6 – CONCLUSÕES	41
7 - REFERÊNCIAS	43

1 - INTRODUÇÃO

A produção global de REEE (REEE) cresce anualmente, diante do atual cenário, surge a grande necessidade de resolver esta problemática. Segundo o E-Waste Global Monitor de 2017, a população mundial e a produção de resíduos cresce de maneira mais veloz que a educação ambiental da sociedade, para que se tenha um gerenciamento eficiente desses resíduos.

Nesse contexto, existe uma categoria que causa complicações: o REEE. “REEE, se refere a todos itens elétricos e equipamentos eletrônicos e suas partes que foram descartadas pelos seus proprietários, sem a intenção de utilizá-las novamente” - *Global E-waste Monitor 2017*. Devido a presença de metais pesados, componentes tóxicos e alto valor agregado (principalmente quando desmontado), a reutilização e reciclagem desses resíduos é de grande importância para a saúde pública. O gerenciamento desses resíduos pode ser lucrativo, mas para que aconteça de maneira efetiva existem grandes barreiras. Equipamentos descartados, como telefones celulares, laptops, geladeiras, sensores e Televisores contém substâncias que apresentam riscos ambientais e para a saúde, especialmente se tratados de maneira inadequada (Baldé *et al.* 2017).

Não é recomendado dispor REEE em aterros sanitários, devido seus componentes tóxicos e perigosos. Tipicamente, o REEE contém metais nocivos e componentes químicos, como por exemplo, retardantes de chama halogenados presentes na fração não metálica (Kang *et al.*, 2019). Se o REEE for disposto em aterros sanitários, ocorrerá a lixiviação de metais a longo prazo e os lixiviados, podem causar perigos ambientais e riscos à saúde humana. Isso implica na necessidade de dispor o REEE de maneira segura, gerenciando eficientemente este fluxo de resíduo sólido (Song and Li, 2015).

Produtos e bens não aproveitados, aterros sanitários cada vez mais lotados, devido ao baixo interesse na reciclagem e grandes volumes de resíduos, preocupam a

baixa parcela de cidadãos que têm o mínimo de consciência daquilo que acontece no atual cenário (informação verbal)¹.

A maior parte do REEE não é propriamente documentado e não passa por cadeias e métodos de reciclagem ou logística reversa adequados (Baldé *et al.* 2017). Ao mesmo tempo, o REEE e seus fluxos desafiam os esforços em direção a uma economia circular enquanto recursos valiosos e escassos são desperdiçados ou até mal aproveitados (Baldé *et al.* 2017). Baldé e col. (2017) no estudo “*Global E-waste Monitor 2017*” mostra que as quantidades de REEE continuam a crescer, enquanto uma parte muito pequena é reciclada.

Os resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos são gerados pelo descarte de equipamentos, tais como computadores e telefones celulares. Tal descarte é fortemente incitado pelas inovações tecnológicas que temos nos dias atuais, fazendo com que os aparelhos sejam trocados por novos outros de melhor tecnologia. Segundo Baldé *et al.* (2017) apesar desse cenário desfavorável, existe uma pequena janela de oportunidade nesta situação, uma vez que componentes de alto valor são partes destes equipamentos eletrônicos descartados, como metais preciosos e básicos.

Uma vez que o tempo de uso médio de um aparelho celular é aproximadamente um ano e o de um computador é entre dois e cinco anos, é estimado que cerca de 100 milhões de telefones celulares e 17 milhões de computadores são descartados anualmente em todo o planeta, devido a mau funcionamento ou devido à tecnologia do aparelho se tornar obsoleta (Kuppelwieser *et al.* 2019)

Levando em consideração que em média, a massa de um celular é cerca de 100 gramas e que a unidade central de processamento (CPU) de um computador possui cerca de três quilos, podemos calcular que cerca de 10 milhões de quilogramas de aparelhos celulares e 51 milhões de quilos de CPUs são descartados anualmente, considerando apenas os CPUs, dos computadores (Baldé *et al.* 2017).

¹Informação fornecida por Davi Gasparini em São Carlos, em 2017.

2 - OBJETIVOS

2.1 - Objetivo geral

Identificar informações de produção e informações qualitativas e quantitativas acerca dos REEE a nível global.

2.2 - Objetivos específicos

- i. Analisar os principais sistemas de gestão destes resíduos implantados em experiências internacionais;
- ii. Fazer uma tabela comparativa dos países estudados e sua relação com os REEE.

3 - REVISÃO DE LITERATURA

3.1 – REEE: classificação.

Os REEE compõem uma grande variedade de produtos, portanto, Baldé em 2015, os classificou da seguinte maneira:

- 1 – Equipamentos de mudança de temperatura: geladeiras, ares-condicionados, freezers e aquecedores.
- 2 – Telas e monitores: Notebooks, computadores e televisores.
- 3 – Lâmpadas.
- 4 – Equipamentos grandes: Máquinas de lavar roupas, máquinas de lavar louças e secadoras, entre outros.
- 5 – Equipamentos pequenos: micro-ondas, ventiladores, calculadoras, rádios, brinquedos eletrônicos entre outros, entram nessa categoria.
- 6 – Equipamentos de telecomunicação e tecnologia da informação: celulares, calculadoras de bolso, GPS, telefones, impressoras entram nessa categoria.

Com relação ao Brasil, a classificação dos equipamentos eletroeletrônicos fica da seguinte maneira:

Tabela 1 - Linhas de Segmento dos Equipamentos Elétricos no Brasil.

Linha Marrom	Linha Verde	Linha Branca	Linha Azul
Televisores	Desk Tops	Refrigeradores	Batedeiras
Monitores	Impressoras	Fogões	Liquidificador
DVD/VHS	Celulares	Lavadoras de Roupa	Forno Elétrico
Produtos de Áudio	Monitores	Condicionador de Ar	Furadeiras
Câmeras e Filmadoras			

Fonte: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2012.

Essa classificação não inclui baterias, lâmpadas fluorescentes, tubos de raio catódicos (CRT) e outros materiais perigosos, que requerem tratamento especializado (Azevedo *et al.*, 2017).

3.2 – Composição

REEE possuem em sua constituição metais pesados, materiais poliméricos e outros componentes, como os retardadores de chama bromados que se forem dispostos em aterros ou lixões podem causar danos graves ao meio ambiente e a saúde humana (Gerbase e Oliveira, 2012). A tabela abaixo mostra os elementos perigosos que podem ser encontrados em REEE bem como os riscos à saúde que oferecem.

Tabela 2 - Elementos perigosos encontrados em componentes eletrônicos.

Componentes eletrônicos	Componente perigoso	Riscos à saúde
Monitores de computador e televisores	Chumbo	Danos aos sistemas nervoso, circulatório e renal, e dificuldade de aprendizagem em crianças.
Placas de circuitos de impressoras, transmissores e interruptores, baterias de produtos eletrônicos	Mercúrio	Danos permanentes ou fatais ao cérebro e rins.
Interruptores, transmissores e placas de circuito	Arsênio	Danos pequenos à pele, pulmão e câncer linfático; conhecido agente cancerígeno para os seres humanos.
Baterias de equipamentos eletrônicos e cabos, placas de circuito	Cádmio	Danos ao rim, pulmão e câncer de próstata.

Fonte: Gerbase e Oliveira, 2012.

Já na tabela abaixo é possível conferir a composição média dos resíduos de equipamentos eletrônicos.

Tabela 3 - Composição média dos REEE.

Material	Quantidade
Plásticos	20,6%
Ferro/Aço	47,9%
Metais não ferrosos	12,7%
Vidro	5,4%
Placas de circuito impresso	3,1%
Madeira	2,6%
Outros	7,7%

Fonte: Gerbase e Oliveira, 2012.

3.3 - Cenário atual

Segundo o *Global E-Waste Monitor* de 2017, somente no ano de 2016 o mundo gerou 44,7 milhões de toneladas de REEE, sendo que destes apenas 20% foi reciclado de forma ambientalmente apropriada. No entanto, apenas 66% da população mundial é regida por alguma legislação referente à destinação de REEE, o que mostra que mais esforços precisam ser feitos, melhorando as políticas públicas referentes a este tipo de resíduo, de maneira de que encorajem a sociedade a implementá-las e desenvolvê-las.

Tabela 4 - Geração de resíduo eletrônico mundial e em países selecionados

País/Região	Produção per capita(kg)	REEE produzido(milhões de toneladas)
Mundo (2014)	5,9	41,80
Mundo (2016)	6,1	44,70
Mundo(2021 estimativa)	6,8	52,20
Reino Unido	23,5	1,50
EUA	22,1	7,00
Alemanha	21,7	1,77
Hong Kong	21,5	0,16
Canadá	20,4	0,72
Austrália	20,1	0,46
Cingapura	19,6	0,11
União Européia	18,7	9,50
Taiwan	18,6	0,44
Japão	17,3	2,20
Koréia do Sul	15,9	0,80
Malásia	7,6	0,23
Brasil	7,0	1,40
Argentina	7,0	0,29
África do Sul	6,6	0,35
China	4,4	6,00
Sri Lanka	4,2	0,09
Índia	1,3	1,60
Nigéria	1,3	0,22
Zâmbia	0,9	0,01

Fonte: Baldé *et al.*, 2017)

Em 2016 a Ásia foi a região que gerou com larga vantagem, a maior quantidade de REEE no mundo (18,2 milhões de toneladas), seguida da Europa (12,3 milhões de toneladas), Américas (11,3 milhões de toneladas), África (2,2 milhões de toneladas) e Oceania (0,7 milhões de toneladas), conforme Baldé *et al.* 2017.

Em se tratando de REEE gerado per capita, o estudo *Global E-Waste Monitor* 2017, relata que a maior geradora foi a Oceania com 17,3 kg/hab., sendo que apenas 6% deste resíduo foi documentado para ser coletado e reciclado. O mesmo estudo aponta que a Europa possui a segunda maior geração per capita: 16,6 kg/habitante, destacando-se por possuir o maior percentual de coleta (35%). Já o continente americano na terceira

colocação, gera 11,6 kg/habitante e coleta apenas 17% do seu REEE gerado, o que é comparável ao percentual de coleta na Ásia (15%). Porém a Ásia gera uma menor quantia de REEE por habitante que a Europa (4,2 kg/habitante), o que se deve muito ao fator de a Ásia ter países extremamente populosos. Devido as condições sociais de baixa renda, a África gera apenas 1,9 kg/habitante, e pouca informação está disponível acerca do percentual de coleta.

Conforme Baldé *et al.* (2017), para contribuir com o desafio de quantificar o REEE ao redor do mundo, foi necessário o auxílio da UNU (Universidade das Nações Unidas), ITU (*International Telecommunication Union*) e ISWA (*International Solid Waste Association*), que em janeiro de 2017 iniciaram a parceria para estatísticas dos REEE. O objetivo foi ajudar países a produzirem estatísticas de REEE e assim construir uma base de dados nível global para acompanhar a sua evolução ao longo do tempo.

A real compreensão da importância de possuirmos um bom gerenciamento desse resíduo e tratamentos como a reciclagem e reutilização de resíduos sólidos a um nível global, cresce em níveis muito menores do que deveriam e o resultado disso pode ser observado na atual conjuntura que se estabelece nos dias de hoje, onde países desenvolvidos, por não terem mais espaço físico disponível enviam, de maneira clandestina, navios com seus resíduos para países em desenvolvimento, gerando grande revolta nesses locais receptores (Business Insider, 2019). Vale ressaltar que estes resíduos poderiam ter grande proveito nos países de origem, desde que toda sua logística do resíduo fosse bem planejada e administrada.

Maneiras eficientes de gerenciar os fluxos de REEE têm sido o reuso, reciclagem e recuperação de materiais de valor dos REEE. Operações de reuso e reciclagem são mais sustentáveis (Nowakowski, 2018) e essas gerando equipamentos de consumo recondicionados e componentes eletrônicos funcionais (Ilankoon *et al.*, 2018), especialmente em países em desenvolvimento (Yong *et al.*, 2019). Técnicas de recuperação de materiais de valor são mais factíveis no contexto industrial devido a altas concentrações de metais (Fernando *et al.*, 2019) como ouro e cobre, em REEE, comparado com o ouro e cobre nos respectivos minérios metálicos onde são extraídos (Liang *et al.*, 2010). Esses são os aspectos que levam projetos econômicos, de recuperação de materiais de valor a serem implementados no contexto industrial. Sendo

assim, o REEE é considerado como um recurso de metal secundário (Yong *et al.*, 2019), esse processo de recuperação de materiais de valor, é conhecido como técnica de mineração urbana (*urban mining techniques*) (Van Eygen *et al.*, 2016).

O REEE, quando não disposto e tratado da maneira correta, pode oferecer grandes riscos à saúde pública, uma vez que contém componentes perigosos, que podem contaminar o solo, água e até mesmo o ar. Os processos de desmontagem de computadores e, celulares e demais REEE, muitas vezes utilizam procedimentos e maneiras inadequadas, sem o devido treinamento à aqueles que executam, oferecendo grande risco ambiental (Urbinati, *et al.* 2017).

Segundo Baldé *et al.* (2017), ter uma base completa de dados é um importante passo em direção ao desafio com os REEE. Estatísticas ajudam a avaliar o desenvolvimento ao longo do tempo, definir e cumprir metas e identificar as melhores práticas de políticas públicas. Ainda segundo Baldé *et al.* (2017) melhores dados de REEE podem eventualmente contribuir para diminuir a geração do mesmo, como prevenção de descarte ilegal e do tratamento inadequado, além disso, ter mais dados pode incentivar a promover a reciclagem, pois uma vez que se tem a real noção da quantidade gerada, maiores motivações públicas surgem para que melhorias sejam feitas.

Conforme Baldé *et al.* (2017), atualmente, o desmonte dos aparelhos se aplica apenas para um pequeno percentual, mesmo sendo de grande relevância, uma vez que o valor agregado do resíduo desmontado é muito maior. Por exemplo: uma tonelada de computador desmontado, vale dez vezes mais que uma tonelada de computador montado.

Ainda conforme Baldé *et al.* (2017), é grande o desafio de tornar essa logística reversa lucrativa, uma vez que temos a problemática de alguns REEE terem um alto custo para serem simplesmente transportados para um local aonde possam ser reaproveitados ou reciclados, por isso muitas vezes o que se faz é descartar de maneira inadequada este resíduo em um aterro mais próximo.

Além disso, em concordância com Baldé *et al.* (2017) para outros resíduos, existe a problemática cultural na qual a maioria dos países se enquadra, onde devido à escassez de informação, estatísticas e até mesmo instrução, ocorre uma baixa

valorização da sustentabilidade, tendo muitas vezes baixa prioridade em investimentos das políticas públicas. Como foi supracitado, com mais metrificação, será viável uma análise mais concreta de quais etapas do processo de reciclagem estão mais defasadas e qual a maior barreira a ser quebrada: se é a falta de estrutura, a baixa informação e cooperação dos indivíduos da sociedade e até mesmo baixa conectividade logística entre os locais onde se gera o resíduo e o possível local de desmonte e reciclagem do mesmo. Uma boa base de dados, como foi a edição de 2017 do *Global E-Waste Monitor*, é um importante avanço para todos os países e irá contribuir para informar órgãos legislativos, indústrias e negócios para melhorar a compreensão e interpretação dos dados globais deste resíduo. Dessa forma, se espera que melhorias sejam feitas e até mesmo empregos sejam gerados, devido à grande necessidade latente de utilizar melhor os recursos desse resíduo tão mal aproveitado.

3.4 - Metas para o desenvolvimento sustentável.

Em setembro de 2015, as Nações Unidas (193 países) e todos os seus membros adotaram metas ambiciosas para 2030, a fim de gerar um desenvolvimento sustentável. Essa nova agenda definiu 17 novas metas (metas de desenvolvimento sustentável ou MDS) e 169 alvos para acabar com a pobreza proteger o planeta e garantir a prosperidade pelos próximos 15 anos, as metas são:

1. Sem pobreza;
2. Zero fome;
3. Boa saúde e bem estar;
4. Educação de qualidade;
5. Igualdade de gênero;
6. Água limpa e saneamento;
7. Energia limpa e acessível;
8. Trabalho decente e crescimento econômico;
9. Inovação industrial e infraestrutura;
10. Redução de desigualdades;

11. Cidades e comunidades sustentáveis;
12. Consumo e produção responsável;
13. Ações climáticas;
14. Vida abaixo d'água;
15. Vida na terra;
16. Justiça, paz e instituições fortes;
17. Parcerias para as metas.

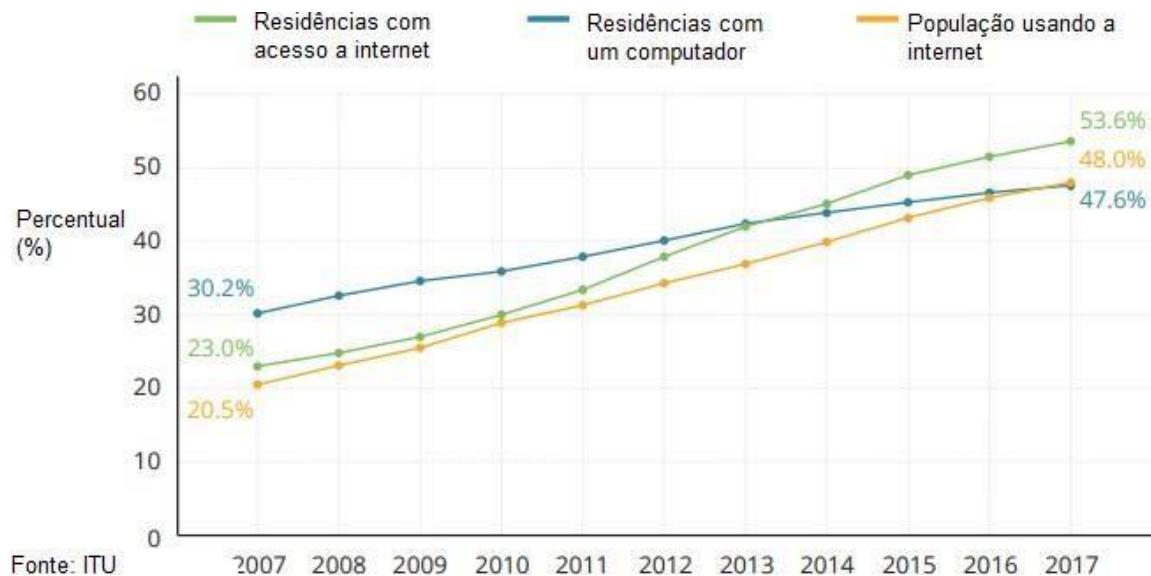
Porém quantidades cada vez maiores de REEE, tratamento e disposição impróprios para estes incineração ou disposição em aterros sanitários tornam cada vez mais difícil alcançar essas metas. (Baldé, *et al.* 2017).

Uma melhor mensuração e gestão do REEE está bem ligada a meta 3 (Boa Saúde e Bem-Estar), Meta 6 (Água Limpa e Saneamento), Meta 11 (Cidades Sustentáveis e Comunidades), Meta 12 (Consumo e Produção Responsáveis), Meta 14 (Vida Embaixo D'água) e Meta 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico), (Baldé *et al.* 2017).

3.5 - Tendências Globais

Como mostra o gráfico abaixo, a tendência para os próximos anos é o aumento do percentual da população que faz uso da internet, bem como o aumento das famílias com um computador em casa e acesso à internet.

Figura 1 - Tendências globais de utilização de tecnologias



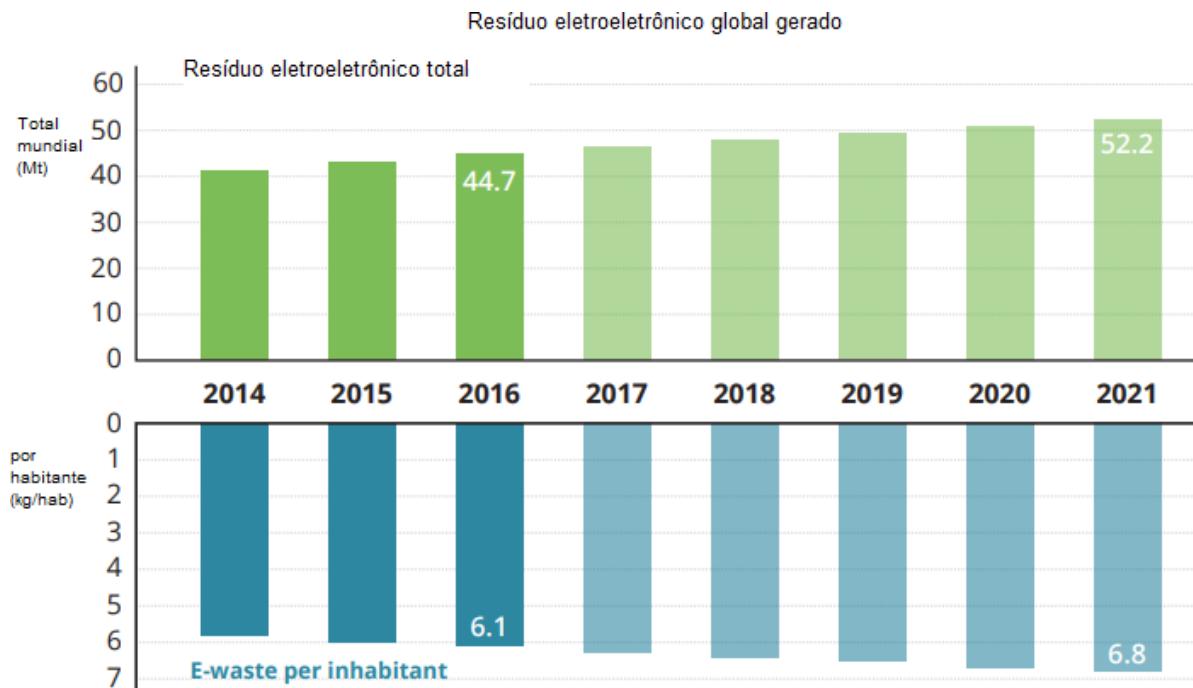
Fonte: ITU

Fonte: Baldé *et al.*, 2017.

Embora por um lado seja muito positivo, todos terem o acesso à informação global e meios de comunicação quase que instantâneos, por outro lado, no modelo linear de consumo atual, este crescimento tem grande influência na geração de REEE, afinal atualmente com o avanço da tecnologia, laptops, computadores e celulares rapidamente são substituídos, pois sua tecnologia se torna obsoleta (Baldé *et al.* 2017).

Como mostra o gráfico abaixo, temos um cenário nada positivo e perspectivas pessimistas no momento, pois a geração de REEE per capita cresce anualmente. Além disso, a população mundial continua crescendo ainda que em menor velocidade, o que resulta em quantidades crescentes de REEE sendo descartados anualmente (Baldé *et al.* 2017). O gráfico abaixo mostra o REEE gerado em milhões de toneladas por ano, em todo o planeta, bem como o valor per capita.

Figura 2 - Produção mundial de REEE por ano



Nota: 2017-2021 são estimativas

Fonte: Baldé et al., 2017.

Em um modelo de economia circular, ou um modelo de locação de bens tecnológicos, no qual as empresas fariam o aluguel por meio de planos de aparelhos eletrônicos, estas trariam formas de reaproveitar boa parte dos resíduos, afinal, estes seriam agora recurso da companhia para sempre e quanto maior o aproveitamento dos mesmos, melhor seria para a economia da empresa. Dessa forma, seria grande a chance de surgirem novas tecnologias, bem como de adaptar o processo produtivo para o maior reaproveitamento de materiais possível, uma vez que a companhia teria grande motivação econômica para tal (informação verbal)².

O estudo feito em 2017, *The Global E-Waste Monitor*, mostra que o consumo de equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE) tem crescido em larga escala, principalmente nas faixas de população com menor renda, uma vez que os preços dos mesmos tem tido uma queda que é positiva socialmente falando. Sendo assim, temos um cenário onde a

²Informação fornecida por Aldo Roberto Ometto em São Carlos, em 2017.

tecnologia é mais democratizada entre as classes sociais. A tabela abaixo mostra como se deu a relação entre faixa de renda e aumento do consumo de equipamentos elétricos e eletrônicos.

Tabela 5 - Taxa média do crescimento anual de equipamentos eletroeletrônicos por grupo de países, por paridade do poder de compra

faixa de paridade de poder aquisitivo (USD/hab em 2016)	Média de crescimento por ano
PPC mais alta >34000	1,60%
PPC alta 34000-15280	5,20%
PPC média 15280-6740	13%
PPC baixa 6740-1700	23%
PPC baixa <1700	15%

Fonte: Baldé *et al.*, 2017.

Segundo o *Global E-Waste Monitor* 2017, produtos que tiveram o maior aumento de consumo em termos de peso foram geladeiras, máquinas de lavar, fornos elétricos, aquecedores e TVs de tela plana. Ao mesmo tempo, outros produtos tiveram sua tecnologia ultrapassada e tiveram grande declínio em suas vendas. As maiores quedas em vendas foram em rádios e vídeos portáteis, monitores de tubo de raios catódicos (CRT) e televisores de tubo. Tudo isso devido ao fato de a tecnologia destes produtos ter se tornado obsoleta, como é o caso dos televisores que foram substituídos por televisores de tela plana, que além de serem mais leves, tem melhor qualidade de imagem. Em alguns casos, dispositivos como o rádio de apenas uma funcionalidade, são substituídos por dispositivos como os smartphones que possuem além do rádio inúmeras outras funcionalidades (Baldé *et al.* 2017).

3.6 - Logística Reversa

A logística reversa é um mecanismo de desenvolvimento econômico e social que tem como característica um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reprocessamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente apropriada, através desse sistema, por exemplo, materiais recicláveis de um produto eletrônico em fim de vida útil descartado pelo consumidor poderão retornar ao setor produtivo na forma de matéria-prima (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2012).

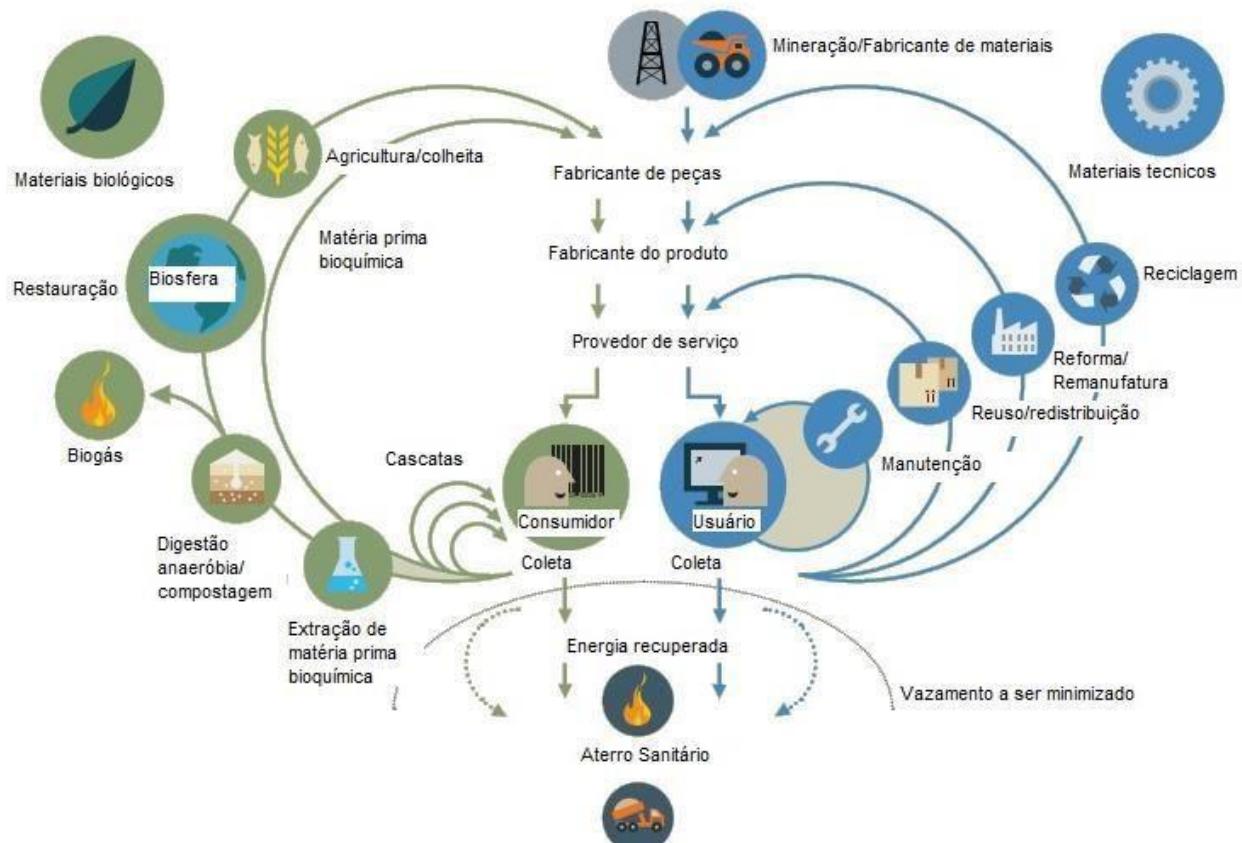
O presidente da República, no decreto Nº10.240 de 12 de fevereiro de 2020, que replica o conteúdo do acordo setorial firmado em 31 de outubro de 2019, aborda a questão da implementação da logística reversa de REEE no Brasil. Esse decreto (que não inclui resíduos não domésticos), obriga empresas do setor a executarem a logística reversa dos seus produtos. A implementação das medidas citadas neste decreto deve ocorrer em duas fases, a primeira fase se iniciou no dia da publicação deste Decreto e deve terminar no dia 31 de dezembro de 2020 e a segunda fase que se iniciará em 1º de janeiro de 202. Ambas as fases se constituem de diversas medidas a serem tomadas para organizar e viabilizar a logística reversa dos REEE no país, como adesão de fabricantes e comerciantes as unidades gestoras, habilitação dos prestadores de serviço que poderão atuar nesse sistema de logística reversa.

3.7 - Economia Circular

Os últimos 150 anos de revolução industrial foram dominados por uma forma ou um modelo linear de produção e consumo, no qual produtos foram manufaturados a partir de uma matéria prima, vendidos, usados e descartados ou incinerados (*The Ellen MacArthur Foundation*, 2014). Com o aumento acentuado da volatilidade na economia global e sinais do esgotamento de recursos, se torna cada vez mais urgente a necessidade de um novo modelo econômico. A busca por uma melhora significativa na economia tem levado empresas a explorar novas maneiras de reutilizar produtos e seus componentes e restaurar mais de seus valiosos materiais, energia e insumos de produção.

A economia circular é um sistema industrial que é restaurador e regenerativo por sua própria definição e seu design. Segundo o estudo “*Towards The Circular Economy*” (*The Ellen MacArthur Foundation*, 2014) o benefício econômico de transicionar para este novo modelo de negócio é estimado valer mais de um trilhão de dólares em economia de material.

Figura 3 - Economia Circular - Um sistema industrial que é restaurativo por definição



Fonte: The Ellen MacArthur Foundation, 2014

Os hábitos de consumo e rotinas formadas por um modelo linear de negócio, servem como uma barreira comportamental para mudar o status quo em práticas de consumo. Uma transição em direção a uma economia circular vai requerer alavancar o poder racional (por exemplo, o poder econômico) assim como o não racional (por exemplo, o poder moral) para mudar os hábitos de consumo (Planing, 2015). Isso é, tornar padrão, modelos de negócio que são alternativos atualmente, como locação de

produtos eletrônicos, bem como aumentar a quantidade de produtos remodelados ou remanufaturados (Bittar, 2018; van Weelden *et al.*, 2016v).

Três áreas principais que colocaram esta oportunidade em foco:

1. As tendências que favorecem a eficiência dos recursos incluem:

(a) Fatores de risco em torno da disponibilidade de recursos e volatilidade dos preços

(b) Maior opinião pública e regulamentação governamental sobre questões ambientais e sociais questões

2. A opinião de que as medidas tradicionais de eficiência de recursos não são suficientes para enfrentar os desafios atuais de recursos

3. O alinhamento das condições que permitirão a rápida difusão da economia circular, como:

(a) A introdução de políticas e regulamentos dos governos em todo o mundo que apoiam e promovem a economia circular

(b) Mudança de atitudes de clientes / consumidores e outras mudanças sociais essenciais para a difusão da economia circular

(c) O avanço das tecnologias da informação e outras tecnologias que aumentam drasticamente a viabilidade da economia circular (McIntyre e Ortiz, 2016).

Apesar dos potenciais benefícios econômicos e ambientais de modelos de negócio baseados em remanufatura e locação, a adoção desses sistemas nas indústrias não é abrangente. (Linder and Williander, 2017). Utilizar a remanufatura é ainda menos comum para produtos eletrônicos e tal problema não pode ser resolvido pela abordagem tradicional do “marketing verde” sem considerar aspectos comportamentais dos compradores (Vogtländer *et al.*, 2017). Além disso, o design dos produtos e modelos de negócio precisa expandir além das características físicas para abranger os aspectos humanos de consumo (Wastling *et al.*, 2018).

Apesar da evolução e diversificação da economia global, nossa produção industrial tem se movido com passos muitos discretos em relação a uma característica

estabelecida nos anos passados de industrialização: um modelo linear de consumo de recursos que segue um padrão de extração (*The Ellen MacArthur Foundation*, 2014).

De acordo com *The Ellen MacArthur Foundation* (2014), empresas colhem e extraem materiais para usá-los como materiais de manufatura e vender o produto ao consumidor que após isso descarta quando este não o serve mais, ou pelo menos quando não atende mais a necessidade estabelecida inicialmente para o produto. Tal fato é mais verdade do que nunca atualmente. Em termos de peso, cerca de 65 bilhões de toneladas de matéria prima entraram no sistema econômico em 2010 e a previsão é de que esse número aumente para 82 bilhões no ano atual (2020).

Segundo *The Ellen MacArthur Foundation* (2014), recentemente algumas empresas perceberam que este sistema linear aumenta a exposição a riscos como maior preço dos recursos, matérias primas e disruptões no fornecimento das mesmas. Cada vez mais as empresas se sentem inseguras devido a preços maiores e menos previsíveis de seus fornecedores, além da alta competição e demanda de estagnação do crescimento de alguns setores.

Ainda de acordo com *The Ellen MacArthur Foundation* (2014), a virada do milênio marcou o ponto que os verdadeiros preços das matérias primas começaram a subir, essencialmente apagando o declínio real dos preços em um século. Ao mesmo tempo, a volatilidade dos preços para metais, alimentos e produção agrícola não alimentar na primeira década do século 21, eram maiores que em qualquer década no século 20. Em concordância com *The Ellen MacArthur Foundation* (2014), se nenhuma ação for tomada, preços maiores e volatilidade irão estar presentes se o crescimento da população e a urbanização, bem como extração de recursos continuarem a crescer. Com três bilhões de novos consumidores de classe média previstos para entrar no mercado até 2030, os sinais de preços podem não ser fortes o suficiente para mudar a situação com rapidez necessária para atender esse requisito de crescimento

“Outras tendências indicam que o modelo linear está chegando aos seus limites, no processo moderno da manufatura:

- Oportunidades de aumentar a eficiência ainda existem, mas os ganhos são ainda insuficientes para gerar uma vantagem real e competitiva ou uma diferenciação
- A tentativa de gerar eficiência as vezes leva a grandes usos e desgastes energéticos e de insumos.
- A produtividade agrícola está crescendo mais devagar que nunca e a fertilidade do solo e até o valor nutricional dos alimentos têm sofrido uma queda.

- O risco de manter uma cadeia de suprimentos (*supply chains*) bem elaborada e otimizada parece estar aumentando.
- Muitos locais de produção com grandes requisitos de matérias primas virgens - água, terra e atmosfera - estão sofrendo para renovar suas licenças para operar enquanto competem em mercados locais com necessidades sensíveis por recursos." - (EMF, Ellen MacArthur Foundation, 2014)

Em contrapartida, muitos líderes empresariais estão em procura de um modelo superior de produção e muitos estão fazendo progresso em direção a um modelo industrial que não associa mais a receita com a entrada de matéria prima: a economia circular.

3.7.1 - Mineração Urbana

A mineração tradicional consiste na extração de recursos do subsolo a partir da lavra de uma jazida mineral e o processamento dos minérios. Com relação a mineração urbana esta vem a ser o aproveitamento econômico de recursos do “sobressolo” resultantes da geração de resíduos, de características diversas, pelo descarte de produtos e materiais após o consumo. De maneira similar à mineração tradicional, a mineração urbana pode recuperar materiais metálicos raros e comuns e materiais não metálicos, a exemplo, respectivamente, de REEE (foco deste artigo) e sucatas ferrosas e não ferrosas e de resíduos de construção e demolição (RCD). – (Xavier e Lins, 2018).

Tabela 6 - Principais materiais nos REEE no mundo e seu valor potencial em 2016

Material	Quantidade	€ Bilhões
Fe	16.283 kt	3,58
Cu	2.164 kt	9,52
Al	2.472 kt	3,59
Au	500 t	18,8
Ag	1.600 t	0,88
Pd	200 t	3,37
Plásticos	12.230 kt	15,0

Fonte: Baldé *et al.*, 2017.

Como é mostrado na figura acima, existe uma janela de oportunidade de alto valor monetário, nos materiais dos REEE. Ouro, Cobre e Plástico representam os três materiais de maior valor nesses resíduos.

Se faz cada vez mais necessário ter uma estrutura corporativa, estatal ou não, para aproveitar esses materiais, fazendo a coleta de maneira organizada e o desmonte dos aparelhos e a separação de cada material. Obviamente, seria muito complexo em um curto prazo aproveitar todos os materiais presentes, mas ainda assim é válido que estudos de viabilidade sejam feitos para avaliar uma possível recuperação desses materiais, sendo eles uma provável via de geração de empregos e aproveitamento de matéria prima.

Tabela 7 - Produção primária e valor potencial de REEE no Brasil em 2016.

Metais	Mineração Tradicional	Mineração Urbana	
		Quantidade	Valor (€ Milhões)
Cu	226 kt	74 kt (32%)	324
Al	793 kt	84 kt (11%)	122
Au	81 t	17 t (22%)	642
Ag	67 t	54 t (81%)	30

Fonte Baldé *et al.*, 2017, Sinopse/MME 2017 e Xavier e Lins (2018).

Somente no Brasil pode-se perceber que o potencial da mineração urbana supre uma boa parte em quantidade do que é extraído através da mineração tradicional, principalmente para o elemento Ag (prata). Um grande valor monetário é perdido e descartado em sua maior parte em aterros, enquanto poderia estar sendo redirecionado a indústria e aos consumidores. Ainda segundo Xavier e Lins (2018) – no que se refere ao gerenciamento dos REEE e a execução da mineração urbana no Brasil, entende-se que é de vasta pertinência que sejam:

- a) definidas as classificações das categorias dos resíduos tecnológicos;
- b) estabelecidas a gestão adequada de recolha/recebimento, triagem e encaminhamento dos REEE para processamento e consolidadas as informações em banco de dados sobre as inúmeras iniciativas de recolha/recebimento no País;

- c) identificados os impactos potenciais e analisadas as alternativas mais viáveis;
- d) realizados estudos que permitam evidenciar os ônus e bônus da mineração urbana, em razão do seu potencial impacto na sustentabilidade; e) idem com relação ao seu custo logístico e social;
- e f) analisadas as possibilidades de incentivar os negócios sustentáveis aderentes às premissas legais e normativas e às boas práticas de produção de matérias-primas secundárias.

No que se refere a sustentabilidade, a mineração urbana apresenta ampla vantagem comparada a mineração tradicional, como é mostrado na figura abaixo.

Tabela 8 - Consumo de energia e uso de água na mineração tradicional e na mineração urbana.

Metais	Mineração Tradicional		Mineração Urbana	
	Energia (MJ/kg)	Água (m ³ /t)	Energia (MJ/kg)	Água (m ³ /t)
Cu	31-2.040	40-200	14	15
Al	238-925	11-320	10	2
Au	13.300-52.300	120.000-420.000	140-230	30
Ag	480-4.280	60-200	80-180	20-40
Terras-raras	5.500 - 7.200	1.275 - 1.800	1.000 - 5.000	250 - 1.250

Fonte: elaboração de Xavier e Lins a partir de EASAC (2016).

Conforme Xavier e Lins (2016), a figura mostra, que para alguns metais, a mineração urbana tem melhor eficiência, devido menor uso de água e energia. Em um estudo realizado pelo Conselho Científico das Academias Europeias (EASAC, 2016), é revelado que o consumo energético e o uso de recursos hídricos são menores na produção secundária. “Percebe-se também a grande variação na produção primária, possivelmente refletindo as diferentes características dos minérios, como teor, tipo de lavra, método de processamento, entre outras” – Xavier e Lins (2016). Como observação, não se deve confundir uso de água com consumo, uma vez que neste caso, cerca de 80% da água é recirculada.

3.8 – Análise comportamental: economia circular.

O estudo “*Behavioral Change For The Circular Economy: A Review With Focus On Electronic Waste Management In The EU*” - PARAJULY, et al. 2019, procura relatar uma análise comportamental da população no que se refere a REEE, na Europa.

No estudo:

- 25% dos Europeus dizem que vão emprestar ou alugar seus produtos eletrônicos, apenas 1% já emprestou ou alugou um produto eletrônico.
- 40% dos Europeus dizem que iriam comprar produtos eletrônicos usados, apenas 6% já comprou um produto eletrônico usado.
- 86% dos Dinamarqueses afirmam que doam ou vendem itens para reuso, apenas 22% de todos os itens coletados na Dinamarca são estão em pleno funcionamento.
- 77% dos Europeus dizem se esforçar para reparar itens quebrados, mas 45% não busca informação acerca da reparabilidade quando compra algum produto.
- 76% dos Europeus alegam separar seus REEE, apenas 35% do REEE gerado é coletado na Europa.
- 95% dos Alemães dizem separar seus REEE, mas 14% dos REEE vão parar em lixeiras na Alemanha (Parajuly, 2019).

Como é revelado no texto acima, há uma grande diferença entre o que se diz e o que se pratica. Apesar da infraestrutura relativamente adequada da Europa, este continente coleta apenas um terço do REEE gerado dentro dos sistemas de coletas oficiais, com quantidades significativas de REEE que vão para canais de coleta não complacentes (Balde et al., 2015).

Quando se fala em implementação de uma economia circular, muitos *stakeholders* são incentivados por recompensas financeiras e requisitos legislativos (Parajuly, et al. 2019), apesar da grande importância destes, o comportamento dos usuários possui uma considerável relevância para o sucesso deste sistema (economia circular).

Diversos hábitos da população (como por exemplo: explorar opções de reuso; venda de produto usado; retornar em vez de estocar e reciclar em vez de descartar) podem contribuir em larga escala para o sucesso da economia circular de determinado REEE. Tais comportamentos têm impacto considerável no fim do ciclo de vida de um produto e no sucesso de um sistema circular para produtos eletrônicos (Parajuly, *et al.* 2019).

O continente europeu estabeleceu uma nova meta mínima de coleta de lixo eletrônico de 65% (com base no peso dos produtos eletrônicos colocados no mercado nos três anos anteriores) (Parlamento Europeu, 2012). Muitos países da Europa estão lutando para atingir esse novo objetivo. Considerando que o armazenamento de produtos eletrônicos usados nas famílias tem sido um dos principais fatores que contribuem para as menores taxas de coleta e reciclagem (Nowakowski, 2016).

A maioria dos cidadãos Europeus estão cientes dos problemas ambientais ligados ao nosso modelo de consumo e da importância do uso efetivo de recursos (União Europeia, 2014). Muitos deles alegam separar seus resíduos domiciliares e alegam estar se esforçando para utilizar itens reutilizados ou modelos econômicos alternativos como arrendamento ou aluguel (Cerulli-Harms *et al.*, 2018).

Porém, como mostra o exemplo da figura, as práticas são diferentes das alegações. Estes exemplos são baseados em dados limitados que são disponibilizados sobre os comportamentos de consumo e nem todos eles são diretamente comparáveis, mas ainda assim, eles nos fornecem uma boa reflexão. Por exemplo, no fim do ciclo de vida, 76% dos Europeus dizem separar seus resíduos, porém apenas 35% do REEE gerado é coletado através de sistemas oficiais de coleta (Parajuly, *et al.* 2019). Isso implica que parte do REEE é estocado em casa, ou coletado através de sistemas não oficiais de coleta. Além disso, essas diferenças são o resultado não apenas das escolhas dos consumidores e de seus hábitos, mas também das opções de coleta de REEE disponíveis e do sistema de coleta oficial, que estão muito além do controle do consumidor (Parajuly, *et al.* 2019).

3.9 - Modelos de Gerenciamento de Resíduo Sólidos

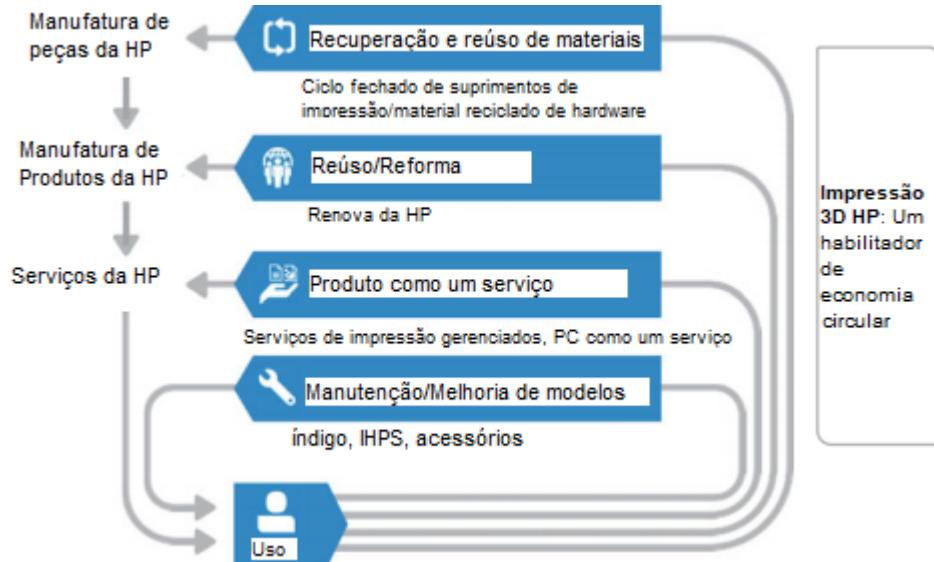
3.9.1 - O modelo de economia circular aplicado à Hewlett-Packard (HP)

Um bom exemplo da aplicação da economia circular em REEE é a companhia Hewlett-Packard. Escalar este modelo de produção a um nível global traz sempre muitas complexidades. Abaixo será demonstrado como três programas atuais da HP são, para demonstrar como os princípios da economia circular são aplicados a um negócio de 130 bilhões de dólares.

“Para produtos duráveis como computadores e impressoras, a economia circular substitui de maneira incisiva o conceito de “consumidor” para “usuário”. Diferente do atual modelo econômico de comprar e consumir, produtos duráveis são alugados, ou compartilhados sempre que possível. – (McIntyre e Ortiz, 2016).

O primeiro exemplo apresentado é o ciclo fechado de manufatura de plástico da HP. Além de ser uma medida muito eficiente em termos de recursos, para muitas empresas, é o primeiro passo para o pensamento circular. Um relatório feito pela fundação *Ellen MacArthur & McKinsey co. para o World Economic Forum* identificou o plástico propileno como um material de alto potencial para causar mudanças nas cadeias de suprimentos (*supply chains*). Este exemplo mostra os desafios e oportunidades, com uma escala bem-sucedida em nível global.

Tabela 9 - Ciclo fechado na manufatura do plástico na HP.



Fonte: Adaptado de McIntyre e Ortiz, 2016.

Como é possível perceber pela figura, os plásticos recuperados chegam á manufatura da empresa, passam por uma remodelagem e o produto é oferecido como um serviço, através de um aluguel da impressora, além disso, o modelo econômico passa por atualizações e manutenções, além de receber mais acessórios devido à remodelagem.

Ainda na mesma obra de McIntyre e Ortiz é relatado como um ciclo fechado é utilizado na manufatura dos cartuchos da empresa, como eles relatam neste trecho do texto:

"Este programa destaca a inovação da Economia Circular dos cartuchos de impressora a jato de tinta e demonstra que, aproveitando a escala da HP, parcerias, relacionamento com clientes, conhecimento de materiais e inovação de processos, fechamos loops de material em polipropileno de qualidade técnica (PP). 1. Reciclagem em circuito fechado com fluxos de PP em cascata: cartuchos de jato de tinta HP retornados pelos clientes são coletados, separados por plástico, recuperados e limpos. Eles são combinados com diferentes fluxos de PP em cascata (de outras aplicações pós-consumo) e aditivos plásticos para criar um conteúdo reciclado pronto para moldar, 85% substituição de plástico (RCP) para resina plástica virgem. 2. Reciclagem de circuito totalmente fechado com fluxos somente da HP: cartuchos de jato de tinta HP retornados pelos

clientes são coletados, separados por plástico, recuperados, limpos, re-peletizados e misturado a 20-30% com resina virgem".

Ainda segundo McIntyre e Ortiz, com esse projeto a HP aplicou o conhecimento e experiência dos últimos nove anos de reciclagem em um ciclo fechado, logística reversa, desenvolvimento de materiais, design de produto e tecnologia de separação para reduzir o ciclo de aprendizado de sete anos para aproximadamente 9 meses, desde o início do projeto até a rampa de manufatura, a qual começou sua produção em proporção mundial em 27 de outubro de 2014.

3.9.2 - Reciclagem de REEE em países com diferentes níveis de desenvolvimento.

Tabela 10 - Comparação de gerenciamento de resíduos em países desenvolvidos e em desenvolvimento.

Países desenvolvidos	Países em desenvolvimento
Desmontagem manual	Desmontagem manual
Separação semi-automática	Separação manual
Recuperação de metais por métodos de última geração em fundições e refinarias	Recuperação de metais por aquecimento, queima e lixiviação ácida de sucata de lixo eletrônico em pequenas oficinas
Incineração com os resíduos sólidos municipais	Queima a céu aberto
Disposição em aterro	Despejo aberto

Fonte: Oliveira *et al.*, 2012.

O gerenciamento dos resíduos é diferente em países desenvolvidos e em desenvolvimento. A reciclagem informal de REEE, prevalecente nos países em desenvolvimento traz consigo diversos problemas ambientais graves e exposição ocupacional aos compostos químicos tóxicos destes resíduos (Oliveira *et al.*, 2012). Enquanto os REEE em países desenvolvidos são reciclados de maneira organizada e regulada, em países em desenvolvimento a reciclagem destes produtos é movida apenas pelo fator econômico (Tsydenova and Bengtsson, 2011). Conforme Oliveira *et al.*, essa situação se torna ainda mais agravante devido a falta de legislação e/ou a aplicação fraca de uma legislação existente, e as práticas de reciclagem dos REEE em países

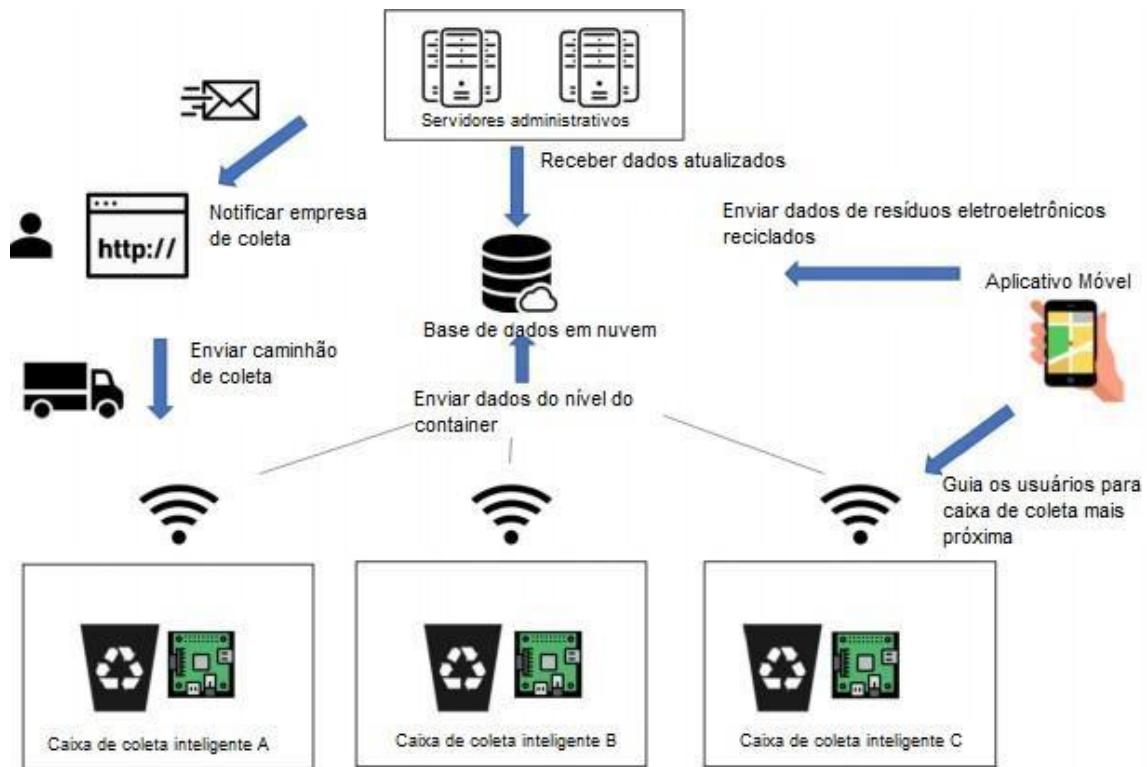
desenvolvidos aparentemente são mais seguras, embora não exista dados suficientes para revelar o panorama completo da situação.

3.9.3 - Malásia: Sistemas Inteligentes de Coleta de REEE

“Com o conceito de cidade inteligente, sistemas inteligentes foram projetados e implementados no convencional gerenciamento dos resíduos sólidos (Nizetic *et al.*, 2019) para manter as cidades limpas, por exemplo Singapura. Sistemas inteligentes que usam a internet das coisas, facilitam a melhoria das rotas de coletas, diminuindo por exemplo o custo de transporte e separação de material (Alcayaga *et al.*, 2019), e garantindo a manutenção do ciclo de vida do produto (Liu *et al.*, 2019). Esses sistemas consistem em um sensor, microcomputadores (como uma unidade computacional de baixa potência) e um sistema global para comunicações móveis, como o módulo Wireless Fidelity (Wi-Fi).” - Kang *et al.*, 2019.

A Malásia produz 0,23 milhões de toneladas de REEE por ano, o que corresponde a 0,52% da produção mundial (Baldé *et al.*, 2017). Segundo Kang *et al.*, 2019, com este sistema é possível melhorar significativamente a coleta do REEE, devido sua ação integrada. Por ter um aplicativo com integração com *Google Maps*, o usuário que precisa descartar um produto eletrônico é guiado até a caixa de coleta mais próxima e lá faz o descarte. Por meio de sensores, internet e uma base de dados em nuvem, a caixa tem seus dados atualizados constantemente. Com sua conectividade via Wi-Fi e seus sensores, a caixa de coleta notifica os servidores administrativos quando esta atinge 80% de sua capacidade volumétrica, assim os caminhões de coleta são notificados via e-mail pelos servidores e realizam a coleta com maior precisão.

Figura 4 - Caixa de coleta instalada na Universidade de Monash (a) e a caixa projetada para funcionar como teste (b)



Fonte: Kang, Ilankoon, Chong, C.Y., 2019.

Na figura acima, é ilustrado o sistema inteligente de coleta de REEE, utilizado na Malásia, no qual quando o usuário quer descartar um produto eletrônico, pode fazê-lo da seguinte forma: por meio do uso de um aplicativo ele pode localizar a caixa de coleta inteligente de REEE, esta através de um sistema de nuvem online e internet, envia os dados para a nuvem, assim os servidores administrativos conseguem manter-se atualizados sobre os dados da caixa de coleta e podem notificar a empresa responsável, que envia o caminhão para recolher os REEE, quando a caixa estiver cheia.

Figura 5 - Exemplo das caixas de coleta de REEE.



Fonte: Kang, Ilankoon, Chong, C.Y., 2019.

3.9.4 - Bangladesh

A quantidade global de REEE gerada é de 44 milhões de toneladas por ano, Bangladesh é responsável por 2,81 milhões de toneladas, o que corresponde a 6,38% da geração global (Hossain *et al.* 2011). Em toda Bangladesh, entre 20 a 35% do REEE é reciclado e a porção remanescente é disposta em aterros sanitários, rios, lagoas e lugares abertos também (Islam, 2016).

O sistema de gestão do REEE produzido no país é feito da seguinte forma:

1. Conserto, gerando assim o reuso do aparelho eletrônico, que posteriormente será resíduo eletrônico novamente;

2. Reciclagem gerando novos produtos e posteriormente novos resíduos, e da reciclagem também restam algumas partes sem proveito que são posteriormente dispostas no aterro;
3. Partes que não podem ser recicladas ou reparadas e essas são despejadas em aterro sanitário.

Aproximadamente 63% do REEE reparado é vendido em Daca, a capital de Bangladesh (Sudipta *et al.* 2017).

Figura 6 - Visão geral do gerenciamento de REEE em Bangladesh.



Fonte: Sudipta, 2017.

3.9.5 - Europa

Os 25 países que compõem a União Europeia têm adotado algumas regulamentações a respeito do REEE, que tem como objetivo: “Preservar, proteger e melhorar a qualidade do meio ambiente, proteger a saúde humana e utilizar recursos de forma prudente e racional” - Comissão Europeia, 2003. As principais considerações da diretiva incluíam recuperação, reciclagem e reutilização do lixo eletrônico. Além disso, segundo a Comissão Europeia, e acordo com o tipo de lixo eletrônico, os produtores devem cumprir as taxas mínimas de recuperação (70-80% em peso) e taxas de “reutilização e reciclagem de componentes, materiais e substâncias”. Com relação a

implementação, alguns países foram os primeiros a realizá-la, por exemplo Holanda e Grécia, outros países que não possuíam um sistema anterior de gerenciamento desse tipo de resíduo, pediram um prazo maior para implementação. Os motivos principais que levam ao atraso da transposição da diretiva incluem o seguinte: (1) transferência de regulamentos anteriores (por exemplo, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Suécia e Luxemburgo) e (2) negociações com as partes interessadas a respeito de responsabilidades no processo (por exemplo, França) (Magalini e Huisman, 2007).

O alvo de coleta definido era de 4 kg por habitante por ano, ou a média de coleta de REEE nos 3 últimos anos, o que fosse maior. Esse alvo definido na diretiva inicial era o mesmo para todos os estados membros, independente de qual fosse a sua geração de REEE, e quanto avançado fosse seu sistema de gerenciamento desses resíduos. Estados membros da União Europeia com geração de 20kg/habitante/ano atingiram facilmente a meta de coleta de 4 kg/habitante/ano, e novos estados membros tiveram dificuldades para atingir tal número, uma vez que tinham um sistema muito novo de gerenciamento de REEE, com muitos pontos de melhoria e também porque tinham uma baixa geração per capita (Ylä-Mella e Román, 2019). Em 2016 em diante, a meta de coleta é de 45% para o ano de 2016 (a ser relatado em 2018) e aumentará para 65% para 2019 (a ser relatado em 2021) (Diretiva, 2012/19 / UE).

3.9.6- Suécia: Altos índices de recuperação de REEE

El-Kretsen é o principal fator da coleta e reciclagem de REEE na Suécia. Trata-se de uma organização sem fins lucrativos estabelecida em 2001 como resultado de um acordo entre associações comerciais suecas, municípios e administrações. Sua coleta representa 99% da coleta Sueca, e alcança a maioria da população (Kjellsdotter Ivert et al., 2015).

Em 2017, EL-Kretsen tinha cerca de 1,500,000 pontos de coleta local, 600 centros de reciclagem e 30 sítios de reciclagem ao redor do país (El-Kretsen, 2017). Os serviços fornecidos pela organização são gratuitos, até mesmo para empresas, que podem ter um certificado de devolução. O certificado de devolução significa que a parte que se

desfaz dos objetos garante que o número de unidades devolvidas corresponde à aquisição de novos equipamentos pela empresa. Em 2016 a Suécia reciclou 55% e captou 16kg per capita de REEE (Eurostat, 2019).

3.6.7 - China

Das 44 milhões de toneladas de resíduo eletrônico produzidas anualmente ao redor do mundo, a China é responsável por aproximadamente 6 milhões de toneladas, o que representa cerca de 13% da produção mundial (Baldé *et al.*, 2017). Segundo Chenyu Lu, *et al.*, (2015), geralmente existem três caminhos para o REEE na China: o primeiro destino são os mercados de segunda mão, onde tais resíduos podem ser vendidos a preços razoáveis por ainda manterem suas principais funções e ainda poderem ser usados após um simples reparo ou *upgrade*. A população rural é a maior consumidora desses produtos devido à baixa renda. O segundo caminho é a doação: proprietários de REEE optam muitas vezes por doar seus aparelhos já usados para a população mais pobre que vive no oeste da China ou na zona rural, mas tais comportamentos são proibidos de acordo com a legislação chinesa, porém algumas dessas ações ainda ocorrem. O terceiro caminho é quando os proprietários vendem seus resíduos eletrônicos para vendedores ambulantes que vendem esses aparelhos para revendedores deste tipo de resíduo, esse é o caminho mais comum na China atualmente devido as grandes quantidades de REEE (Chenyu Lu, *et al.*, 2015).

3.9.8 - Índia

Segundo Baldé *et al.*, 2017, a produção anual de REEE na Índia é cerca de 1,6 milhões de toneladas, representando 3,5% da produção mundial. Em um país de densidade populacional tão grande como a Índia, a rápida proliferação de REEE se tornou problemática em termos ambientais.

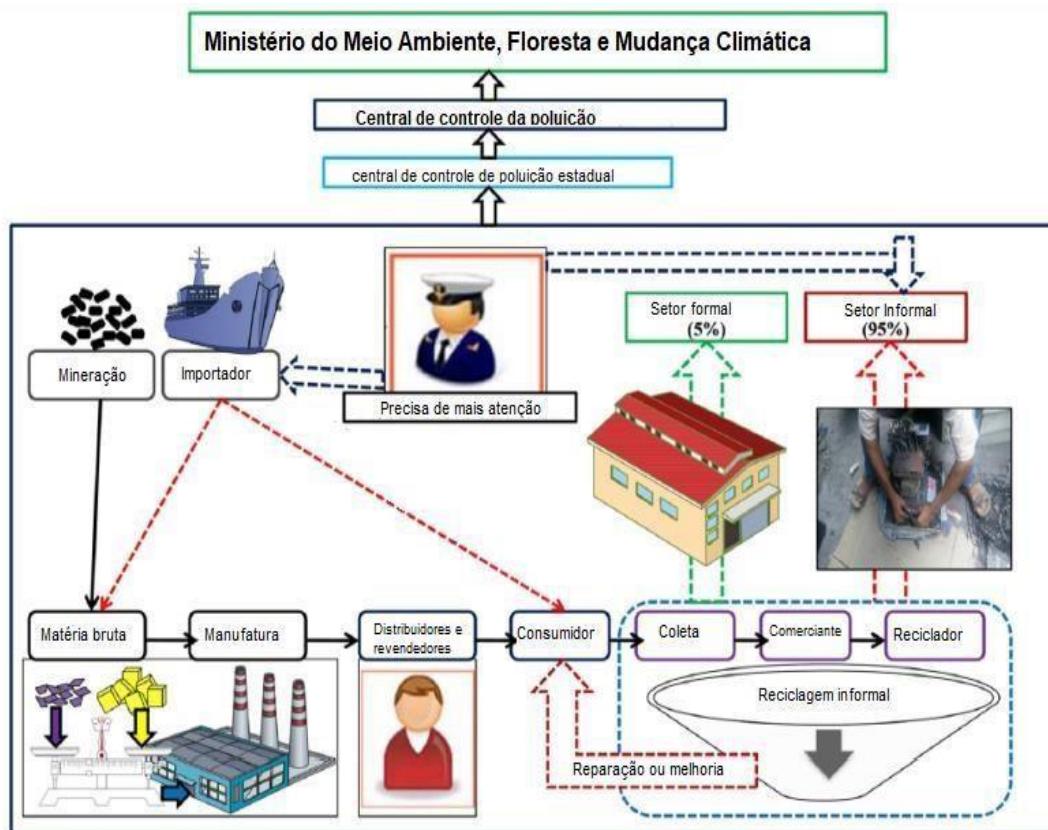
O Ministério do Meio Ambiente, Floresta e Mudanças Climáticas da Índia nesse contexto, buscou implementação de leis que promovessem uma mudança. Em maio de 2011, foram impostas regras e regulamentos específicos, baseados na responsabilidade estendida do produtor ou *Extended Producer Responsibility* (EPR), que é uma estratégia

de adicionar todos os custos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto, no preço de mercado deste produto (Awasthi *et al.*, 2018).

No que se refere a reciclagem no país, apenas 5% dos REEE passam pela reciclagem formal, enquanto o restante é processado pelos sistemas informais do país (Mait-Gtz ,2007). Devido ao preço dos metais, a reciclagem deste tipo de resíduo se tornou uma fonte de renda, em um setor não autorizado. Depois que o REEE é coletado, é normalmente movido para uma família, que irá separar, e desmontar manualmente e até mesmo vender os diferentes materiais reutilizáveis (Dwivedy and Mittal, 2012).

Os materiais residuais que não podem ser utilizados, são frequentemente dispostos de forma inadequada, contaminando assim o ambiente (Luo *et al.*, 2007). O setor informal traz muitas complexidades consigo, pois possui uma grande capacidade de penetrar nas comunidades, e no momento eles fornecem serviços mais vantajosos para os consumidores que o setor formal de coleta de REEE (Awasthi *et al.*, 2018).

Figura 7 - O sistema de gerenciamento de REEE na Índia.



Fonte: Awasthi *et al.*, 2018.

3.9.9 - Brasil

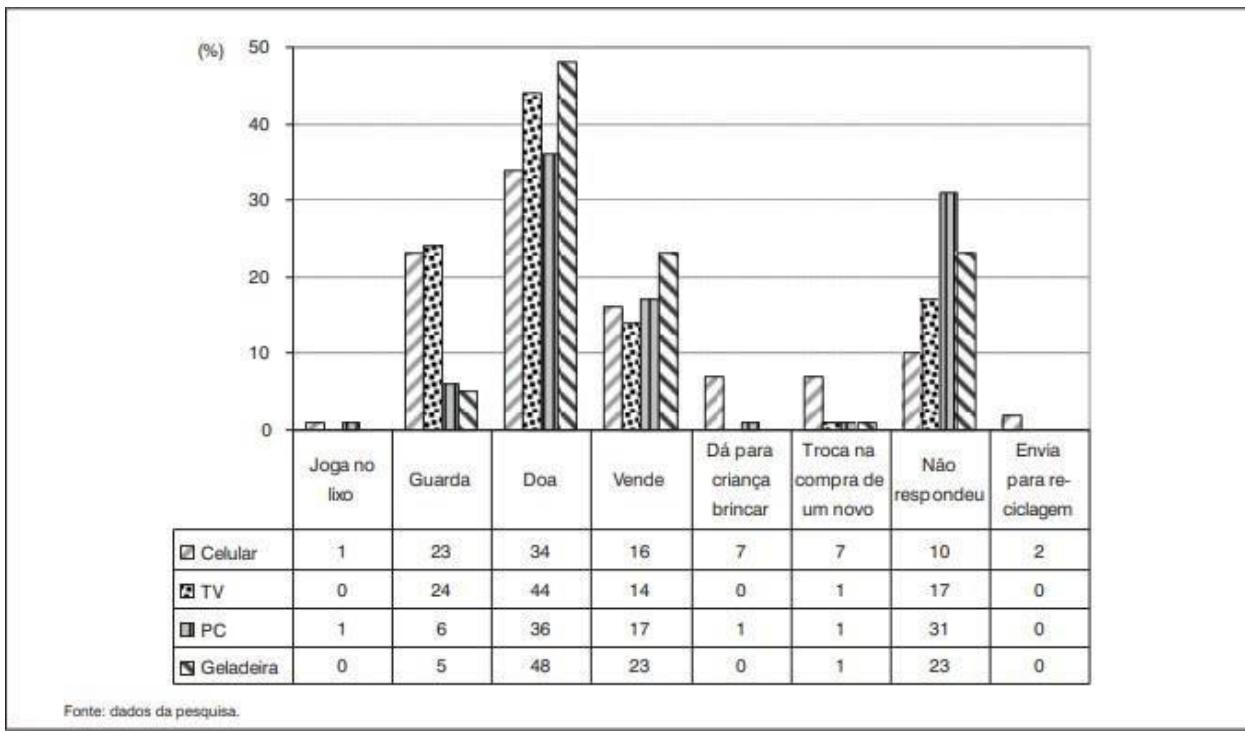
O Brasil é responsável pela produção de 1,40 milhões de toneladas de REEE anualmente, em 2016, o que corresponde a 3,8% da produção mundial segundo Baldé *et al.*, 2017. Temos aqui uma classificação dos REEE segundo linhas, sendo essas a linha marrom, linha verde, linha branca e linha azul, como mostra a figura abaixo.

No que se refere ao gerenciamento de REEE no Brasil, um relatório apresentado por Romulo Nagib em agosto de 2019, mostra que desde 2013 o Brasil reciclou apenas 2% do seu resíduo eletrônico. Segundo a Agência Senado:

“Uma combinação de vários fatores como dificuldades operacionais de transporte e o custo da coleta, transporte e manufatura reversa, que hoje não tem nenhum tipo de financiamento, para a indústria. Há dificuldades para a instalação de pontos de coleta nas cidades, em especial nas menores, há falta de integração das empresas responsáveis pela reciclagem com a atividade dos catadores de lixo e, principalmente, há falta de cultura do brasileiro para dar a destinação correta ao seu lixo.” – Agência Senado, 2019.

No estudo “Estimativa do fluxo dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil” de 2011, foi feita uma estimativa acerca dos destinos dos REEE de através de uma pesquisa com questionário, na cidade de Belo Horizonte – MG. O que impressiona na pesquisa é a quantidade baixa destes resíduos que é encaminhada para reciclagem. Os resultados podem ser conferidos na imagem abaixo:

Figura 8 - Destino dado aos aparelhos domésticos ao final da primeira vida útil.



Fonte: Franco e Lange, 2011.

3.9.10 – Estados Unidos

Os Estados Unidos foram responsáveis pela produção de 6,295 milhões de toneladas de REEE no ano de 2016, correspondendo a 15,55% do que foi produzido mundialmente. No que se refere ao gerenciamento, 84% da população nos Estados Unidos é coberta pela legislação de REEE. Ainda assim, 15 estados não contêm legislação em efetividade, estados como Alabama, Ohio e Massachusetts. 25 estados têm algum tipo de lei de retorno do consumidor. 17 estados e Nova York possuem uma legislação que proíbe a disposição em aterros de REEE. Os Estados Unidos tomaram medidas gerais para prevenir e limitar os efeitos adversos advindos do descarte e tratamento inadequado dos REEE. Eletrônicos comprovadamente perigosos devem seguir a *Resource Conservation and Recovery Act* (em português: “ato de recuperação e conservação de recursos”) e serem gerenciados de acordo. Monitores de tubo de raios catódicos (CRT) quebrados tem um regulamento que impõe certas condições para o seu gerenciamento, importação e exportação (Baldé *et al.*, 2017).

Mesmo o estudo *The Global E-Waste Monitor* não traz dados específicos acerca da reciclagem no país, apenas relata que em todo continente americano (América Central, Sul e do Norte) 17% dos REEE são coletados e reciclados. Segundo Leblanck, 2018, em 2012 os Estados Unidos reciclaram cerca de 29% de seu REEE.

3.9.11 – Japão

O Japão possui uma produção de REEE anual de 17,3kg per capita, uma das maiores do mundo, e sua produção anual foi de 2,2 milhões de toneladas em 2016, cerca de 4,9% da produção mundial. O Japão teve a primeira lei de retorno de eletrodomésticos no mundo (Tamamushi, 1998). O grande fator responsável pela implementação dessa lei antes que outros países foi a falta de espaço (Onorato, 2001). Aterros cada vez mais cheios, em um país de dimensões territoriais pequenas somada a grande capacidade de produção tecnológica, fizeram o Japão ser o pioneiro no mundo a ter uma legislação para os REEE.

Conforme Onorato (2001), a população japonesa tem boa contribuição para que a implementação desse sistema tenha sido um sucesso. Uma vez que os cidadãos japoneses ao devolverem o produto para ser reciclado pagam uma taxa, para custear o processo, e mesmo assim o sistema funciona. “A cultura japonesa é muito cooperativa, nós nunca poderíamos fazer isso com Americanos, por exemplo” – M.J. Raymond, 2004.

Os números acerca do gerenciamento de REEE no Japão são bons: taxa de 75% de coleta e 50% de reciclagem (YOSHIDA; YOSHIDA, 2019).

4 - MATERIAL E MÉTODOS

Para que os objetivos apresentados anteriormente fossem atingidos, foi seguida uma série de procedimentos metodológicos, e o único material necessário foi um computador. Primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica prévia, em seguida a definição dos estudos de caso, análises de resultados e conclusão.

O método de busca inicial se deu por meio de procura por palavras-chave em sites de base de dados, as bases utilizadas foram SciElo, e Science Direct. Para ter acesso a toda vasta gama de artigos científicos destas bases supracitadas, foi utilizado o VPN (*Virtual Private Network*) USPnet.

Nesse sentido, as palavras-chave pré-determinadas, foram decididas a partir do tema principal: os REEE, e temas relacionados:

- *E-Waste*
- *Circular Economy*
- *E-Waste Management*
- *E-Waste and Circular Economy*
- *Reverse Logistics and E-Waste*

Já a fase de procedimento de seleção dos estudos utilizou-se das palavras-chave e das bases de dados para encontrar artigos que fossem relevantes à temática. Após a leitura dos trabalhos, foram selecionados aqueles que entrariam para a revisão de literatura priorizando estudos que contivessem estatísticas pertinentes sobre o tema, ou que mostrassem casos de sucesso no gerenciamento deste tipo de resíduo.

Uma vez selecionados os estudos, construiu-se a revisão de literatura, buscando o melhor que cada um desses artigos pudesse contribuir com os objetivos deste texto. Após a análise de toda a temática pesquisada e trazida para o presente trabalho, foi possível extrair informações qualitativas e quantitativas que permitiram chegar aos resultados e conclusões, bem como às perspectivas futuras sobre estas relevantes questões.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com relação aos resultados da revisão de literatura, a tabela mostra características acerca dos países e sua relação com os REEE. Práticas como responsabilidade estendida ao produtor (REP) e taxa de reciclagem avançada (TRA) são comumente citadas em artigos internacionais que abordam o assunto. Na tabela abaixo, os números de coleta e reciclagem com um asterisco (*) são referentes a países que não possuíam estes dados, então foi utilizado o dado do continente ao qual o país pertence, todos os índices de coleta e reciclagem da tabela são do ano de 2017.

Tabela 11 - Comparativo dos países e suas características relacionadas a REEE.

País	Legislação	Implementam a lei	Metas Estabelecidas	Abordagem	IDH	% Coleta	% Reciclagem
Brasil	Possui (recente)	Ainda não	Sim	RC	0,761	17*	17*
Canadá	Não possui	Não	Não	Voluntário	0,922	20	20
China	Possui	Em partes	Não	REP	0,758	21	14*
EUA	Em alguns estados	Em partes	Não	REP; TRA; Voluntário	0,920	20	17*
Índia	Possui	Em partes	Não	REP	0,647		14*
Japão	Possui	Sim	Não	REP; TRA	0,915	75	50
Noruega	Possui	Sim	Sim	REP; PPP	0,954	68	44
Suécia	Possui	Sim	Sim	REP; PPP	0,937	66	47
Suíça	Possui	Sim	Sim	REP; PPP; TRA	0,946	73	

Fonte: Adaptado de Baldé *et al.* (2017), Eurostat (2017).

A REP significa que cabe ao produtor a responsabilidade pela destinação do equipamento eletroeletrônico que este fabrica, e a TRA é uma taxa paga (geralmente no momento da compra do produto) para cobrir os futuros gastos com destinação e reciclagem dos componentes do produto e PPP significa princípio do poluidor pagador, já a RC significa que todos os envolvidos no ciclo de vida do equipamento eletroeletrônico tem responsabilidade por ele (fornecedores, fabricantes, comerciantes e consumidores). Dos países apresentados, os 4 últimos da tabela (Japão, Noruega, Suécia e Suíça) são países referência no assunto, possuem uma taxa de coleta e reciclagem considerada

alta, o Japão por exemplo coleta 75% e recicla 50% de seu REEE (YOSHIDA; YOSHIDA, 2019) e a Suécia atingiu em 2017 uma taxa de coleta de 66% (Eurostat, 2019).

Todos os países estudados nessa revisão que eram modelo de gerenciamento de Resíduos tinham em comum:

1. Legislação para regulamentar os REEE;
2. Realizavam grandes esforços para implementar o que fora estabelecido em lei;
3. Dados disponíveis acerca da quantidade produzida, coletada e reciclada;
4. Adotavam a política de responsabilidade estendida ao produtor;
5. Possuíam um índice de desenvolvimento humano muito alto.

Com relação ao índice de desenvolvimento humano (IDH), nem todos os países estudados com alto IDH possuíam bom gerenciamento de REEE, como por exemplo Estados Unidos e Canadá. O IDH nesse caso foi utilizado como um possível indicador de boa educação ambiental da população, bem como, boa colaboração dos consumidores para que o processo de reciclagem ou logística reversa ocorra com êxito, uma vez que países com alto índice de desenvolvimento humano tendem a ter excelentes níveis de instrução e conscientização da população. O Japão por exemplo, como citado, possui um sistema onde o consumidor paga uma taxa para reciclar o seu equipamento eletrônico na hora da devolução. Tal sistema dificilmente funcionaria no Brasil onde o percentual de reciclagem de resíduos já é baixo ainda que o consumidor não tenha que pagar nenhuma taxa para entregar seus resíduos a uma cooperativa.

De todos os itens listados acima, aparentemente o item de maior importância é a implementação da lei. Países que obtém sucesso no gerenciamento de REEE garantem que o que fora estabelecido em lei seja cumprido na prática, o que é bastante difícil pois exige grandes esforços públicos na fiscalização e no levantamento dos dados. Em média, quanto pior for o gerenciamento de um país acerca de seus REEE, menos dados serão levantados e dispostos a respeito da produção, coleta e reciclagem deles.

No nosso país se possui pouca informação acerca dos REEE. No artigo *“Sustainability assessment and prioritisation of e-waste management options in Brazil”* de 2015, os autores tiveram que usar dados internacionais da base de dados Ecoinvent

e assim assumir que estes dados se aplicavam a situação no Brasil, como pode ser observado na citação abaixo:

“Porque há informações limitadas sobre o lixo eletrônico atual fluxos e processos que ocorrem atualmente no Brasil, este estudo usou dados internacionais principalmente do banco de dados Ecoinvent (Hischier *et al.*, 2007) e outros (SWICO, 2013; Hong *et al.*, 2015). A modelagem também adotou premissas na representação dos processos de tratamento de resíduos eletrônicos brasileiros. – Souza, *et al.*, 2015.

6 – CONCLUSÕES

No cenário nacional, apesar do decreto Nº10.240, de 12 de fevereiro de 2020 obrigar empresas do setor eletroeletrônico a executarem a logística reversa dos seus produtos, as projeções de cumprimento das medidas de implementação deste decreto não são otimistas, afinal durante o período corrente (2020) o Brasil, assim como todas as nações, enfrentam uma grave pandemia, a Covid-19 , a qual exigirá todo foco e atenção do governo, com medidas para controlá-la e também para tentar evitar o colapso econômico. Sendo assim, é difícil afirmar que medidas de fiscalização eficientes serão tomadas para que a logística reversa comece a ocorrer com abrangência e efetividade em todo território nacional. Basta uma breve análise histórica para perceber que, no que se refere a problemas ambientais, se não houver pressão governamental e fiscalização, as medidas de mitigação dificilmente serão implementadas. Isso vale para o cenário internacional também, só obtêm êxito no gerenciamento dos REEE os países que realizam esforços para implementar o que está na legislação.

No que se refere ao crescimento da produção de REEE, grande parte da responsabilidade disso se deve a obsolescência programada: empresas vendem um produto que é programado para estragar em alguns anos. Essa prática, no modelo econômico atual gera mais lucros para as empresas, uma vez que o consumidor é quase que obrigado a comprar um produto novo. É muito comum um usuário adquirir um computador ou smartphone e em cerca de 5 anos esse produto se encontrar em condições inadequadas para uso, apresentando muitos problemas processamento de dados, e uma consequente lentidão.

Essa lógica seria muito diferente caso, nossos produtos eletrônicos nos fossem concedidos por meio de um serviço a qual pagamos pelo uso, como um aluguel desses aparelhos. Dessa forma, quanto menos eles estragasse, mais vantajoso seria para a empresa, pois esta gastaria menos com produção e matéria prima de um novo produto, e assim, os produtos eletrônicos seriam feitos de maneira a serem úteis por muito mais tempo, além disso, teriam maior padronização de peças e um sistema que permitisse um grande reaproveitamento de materiais, o que não ocorre nos dias atuais.

Ter um meio ambiente preservado é vital para que as gerações futuras tenham uma vida digna, sendo assim, não se deve corroborar esse sistema atual de produção, um novo sistema de maior reaproveitamento de matérias e produtos deve surgir, devemos caminhar passo a passo, para se ter um sistema de gestão de resíduos uma logística reversa cada vez mais eficiente.

REFERÊNCIAS

ABDI (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL). Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica. Brasília, nov. 2012. Disponível em: http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1362058667.pdf

Alcayaga, A., Wiener, M., Hansen, E., 2019. Towards a framework of smart-circular systems: an integrative literature review. *J. Clean. Prod.* 221, 622e634.

Annelise Engel Gerbase e Camila Reis de Oliveira. Reciclagem do Lixo de Informática: Uma Oportunidade para a Química, *Química Nova*, Vol. 35, p.1486-1492, 2012.

Baldé CP, Forti V, Gray V, Kuehr R, Stegmann P (2017) *The Global E-Waste Monitor—2017*, United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna

Balde, C.; Wang, F.; Huisman, J.; Kuehr, R. *The Global E-Waste Monitor*, Technical Report; United Nations University: Bonn, Germany, 2015.

Bittar, Ad.V., 2018. Selling remanufactured products: does consumer environmental consciousness matter? *J. Clean. Prod.* 181, 527–536.

Business Insider - 2019. The Philippines is shipping 1,500 tons of trash back to Canada, the latest move in Southeast Asia's rebellion against Western garbage.

CMA avalia como elevar percentual de lixo eletrônico reciclado, hoje em 2%. Distrito Federal: Agência Senado, 2019. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2019/08/15/cma-avalia-como-elevar-percentual-de-lixo-eletronico-reciclado-hoje-em-2>. Acesso em: 16 out. 2020.

Cerulli-Harms, A., Suter, J., Landzaat, W., Duke, C., Diaz, A.R., Porsch, L., Peroz, T., Kettner,

Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

Dwivedy M and Mittal RK (2012) An investigation into e-waste flows in India. Journal of Cleaner Production 37: 229–242.

El-Kretsen, 2017. El-kretsen - Together for Sustainable Development.
<http://www.elkretsen.se/english/>.

EMF - Ellen Macarthur Foundation: Towards the Circular Economy, 2014.

European Commission-RoHS Directive. Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment. Brussels, Belgium: European Commission; 2003.

European Union, 2014. Flash Eurobarometer 388 “Attitudes of Europeans Towards Waste Management and Resource Efficiency”. http://ec.europa.eu/commfrontoffice/publicopinion/flash/fl_388_en.pdf.

Eurostat, 2019a. WEEE statistics - Database: Waste electrical and electronic equipment (WEEE) by waste management operations (env_waselee). <https://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/data/database>.

E-waste management in India: a mini-review. Waste Manag. Res. 36, 408–414.<https://doi.org/10.1177/0734242X18767038>

Exploring e-waste management systems in the United States

Fernando, W.A.M., Ilankoon, I.M.S.K., Gobal Krishnan, S., Chokshi, V., 2019. The effects of packing shape and structure on liquid distribution of heap leaching systems: addition of PCBs as non-ore particles. *Hydrometallurgy* 187, 149e157.

FRANCO, R.G.F.; LANGE, L.C. Estimativa do fluxo dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais. Eng Sanit Ambiental, v. 16, n. 1, pp. 73-82, jan/mar 2011

Hossain S (2010) E-Waste: Bangladesh Situation. In Study Report Environment and Social Development Organization Environmental and Social Development Organisation Dhaka. Bangladesh

Kang, H., Ilankoon, I., Chong, C.Y., 2019. Electronic waste collection systems using internet of things (iot): household electronic waste management in Malaysia. *J. Clean. Prod.* 119801.

Kuppelwieser, V.G., P. Klaus, A. Manthiou and O. Boujena. 2019. Consumer responses to planned obsolescence. *Journal of Retailing and Consumer Services* 47: 157-165

LEBLANC, Rick. E-Waste State of the Union: Recycling Facts, Figures and the Future. Kansas: Investment Recovery Association, 2018. Disponível em: <https://invrecovery.org/e-waste-state-of-the-union-recycling-facts-figures-and-the-future/#:~:text=The%20United%20States%20generated%2011.7,recycling%20rate%20of%2029%20percent..> Acesso em: 21 out. 2020.

Linder, M., Williander, M., 2017. Circular business model innovation: inherent uncertainties. *Bus. Strategy Environ.* 26, 182–196. Linder, N., Lindahl, T., Borgstrom, S., 2018.

Liu, Y., Zhang, Y., Ren, S., Yang, M., Wang, Y., Huisingsh, D., 2019. How can smart technologies contribute to sustainable product lifecycle management? *J. Clean*

Lu, C.L., *et al.*, 2015. An overview of e-waste management in China. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 17 (1), 1e12.

Luo Q, Cai ZW and Wong MH (2007) Polybrominated diphenyl ethers in fish and sediment from river polluted by electronic waste. *Science of the Total Environment* 383: 115–127

Macarthur, E. (2015b). Rumo à economia circular: O racional de negócio para acelerar a transição.

Magalini F, Huisman J. Management of WEEE & cost models across the EU: could the EPR principle lead US to a better environmental policy? In: Proceedings of the 2007 IEEE international symposium on electronics and the environment. IEEE; 2007. p. 143–8.

MAIT-GTZ (2007) E-Waste Assessment in India: Specific Focus on Delhi. Available at: http://www.nswai.com/nswaiadmin/Pdfs/insertPdf/i_2015/i_Nov15/eWaste%20Assessment%20in%20India%20-%20%20_Specific%20Focus%20on%20Delhi.pdf (accessed 23 March 2015).

Masud M, Akram MW, Ananno AAA, Mourshed M, Hasan M, Joardder MUH (2018) Towards the efective E-waste management in Bangladesh: A review.

Nizetic, S., Djilali, N., Papadopoulos, A., Rodrigues, J.J.P.C., 2019. Smart technologies for promotion of energy efficiency, utilization of sustainable resources and waste management. *J. Clean. Prod.* 231, 565e591.

Nowakowski, P., 2016. The influence of residents' behaviour on waste electrical and electronic equipment collection effectiveness. *Waste Manage. Res.* 34, 1126–1135.

ONORATO, Danielle. Japanese Recycling Law Takes Effect. [S.L]: Waste 360, 2001. Disponível em: https://www.waste360.com/mag/waste_japanese_recycling_law. Acesso em: 26 out. 2020.

Parajuly, K., Kuehr, R., Awasthi, A.K., Fitzpatrick, C., Lepawksky, J., Smith, E., Widmer, R., Zeng, X., 2019. Future E-Waste Scenarios. StEP (Bonn), UNU ViE-SCYCLE (Bonn) & UNEP IETC (Osaka). https://collections.unu.edu/eserv/UNU:7440/FUTURE_EWASTE_SCENARIOS_UNU_190829_low_screen.pdf.

PARAJULY, Keshav *et al.* Behavioral change for the circular economy: A review with focus on electronic waste management in the EU. 2019. 9- Electronic & Computer Engineering, United Nations University, Bonn, 2020.

Planing, P., 2015. Business model innovation in a circular economy reasons for non-acceptance of circular business models. Open J. Bus. Model Innov. 1.

R. Kahhat, J. Kim, M. Xu, B. Allenby, E. Williams, P. Zhang
Resources, Conservation and Recycling, 52 (7) (2008), pp. 955-964
ROSSINI, Valéria; NASPOLINI, Samyra. H D. F.

M.J., Raymond, M., Ammons, J.C., 2004. E-waste: an opportunity. Materials Today January, 40e45.

S., Thorun, C., Svatikova, K., Vermeulen, J., Smit, T., Dekeulenaer, F., Lucica, E., 2018. Behavioural Study on Consumers' Engagement in the Circular Economy. European Commission. https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/ec_circular_economy_final_report_0.pdf.

Song, Q., Li, Q., 2015. A review on human health consequences of metals exposure to E-waste in China. Environ. Pollut. 196, 450e461.

The United Nations: Sustainable development goals, 2018. About the sustainable development goals.

Van Eygen, E., De Meester, S., Tran, H.P., Dewulf, J., 2016. Resource savings by urban mining: the case of desktop and laptop computers in Belgium. *Resour. Conserv. Recycl.* 107, 53e64.

Van Weelden, E., Mugge, R., Bakker, C., 2016v. Paving the way towards circular consumption: exploring consumer acceptance of refurbished mobile phones in the Dutch market. *J. Clean. Prod.* 113, 743–754.

Vogtlander, J.G., Scheepens, A.E., Bocken, N.M.P., Peck, D., 2017. Combined analyses of costs, market value and eco-costs in circular business models: eco-efficient value creation in remanufacturing.

Wastling, T., Charnley, F., Moreno, M., 2018. Design for circular behaviour: considering users in a circular economy. *Sustainability* 10, 1743.

XAVIER, L. H.; LINS, F. A. Mineração urbana de REEE: uma nova fronteira a explorar no Brasil. Brasil Mineral, n. 379. 2018. Disponível em: <https://www.cetem.gov.br/images/periodicos/2018/mineracao-urbana.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2019. XXVI Encontro Nacional do CONPEDI, 2017, Brasília. Revista Direito e Sustentabilidade.

Ylä-Mella, J., Román, E., 2019. Waste electrical and electronic equipment management in Europe: learning from best practices in Switzerland, Norway, Sweden and Denmark.

Yong, Y.S., Lim, Y.A., Ilankoon, I.M.S.K., 2019. An analysis of electronic waste management strategies and recycling operations in Malaysia: challenges and future prospects. *J. Clean. Prod.* 224, 151e166.

YOSHIDA, Fumikazu; YOSHIDA, Haruyo. WEEE management in Japan. Sapporo, Japão: Elsevier, 2019.