

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

GUILHERME DE PAULA XAVIER

**Da Mineração Urbana à Economia Circular: Estimativa do valor agregado aos metais
advindos dos resíduos eletroeletrônicos gerados em Uberlândia- MG**

Uberlândia

2022

GUILHERME DE PAULA XAVIER

Da Mineração Urbana à Economia Circular: Estimativa do valor agregado aos metais
advindos dos resíduos eletroeletrônicos gerados em Uberlândia- MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Ambiental

Orientadora: Bruna Fernanda Faria Oliveira

Uberlândia

2022

RESUMO

O consumo de equipamentos eletroeletrônicos está aumentando e conseqüentemente a geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos(REEE) também. Dado este cenário este trabalho teve como objetivo estimar a quantidade de resíduo eletrônico que o município de Uberlândia-MG gerou em 2021, estimar a quantidade de metais presentes e o valor agregado a esses metais. Foi utilizado para cálculo da quantidade o modelo da fórmula de KUSH e HILLS (2017), e para a quantidade de cada metal e seus valores a análise de dados do estudo de FORTI et.al (2020). Os resultados obtidos apresentaram que o município de Uberlândia gerou 3.600.474,933 kg em resíduos de equipamentos eletroeletrônicos e os metais advindos dessa quantidade de massa teria o valor agregado de, aproximadamente, 20,6 milhões de reais. A dificuldade no funcionamento da logística reversa, a falta de educação ambiental para a população e a falta incentivo para o setor privado de reciclagem fez com que estes resíduos fossem descartados incorretamente gerando desperdícios de recursos naturais, poluindo o meio ambiente com seus metais pesados e colocando em risco a saúde de catadores. Visto que o Brasil vende por preço bem inferior para que outros países reciclem esses metais, através deste trabalho conclui-se que não há efetividade nas ações dos envolvidos em alertar a população quanto ao desperdício e aos riscos ao meio ambiente, ao setor público quanto as necessidades de políticas mais efetivas garantindo a logística reversa e ao setor privado quanto as oportunidades de novos empreendimentos.

Palavras- chave: lixo eletrônico. REEE. quantidade de metais. valor agregado.

ABSTRACT

The consumption of electrical and electronic equipment is increasing and consequently the generation of WEEE as well. Given this scenario, this study aims to estimate the amount of e-waste that the municipality of Uberlândia-MG generated in 2021, estimate the amount of metals present and the value added to these metals. It was used to calculate the amount the model of KUSH and HILLS (2017), and for the amount of each metal and its values are analyzed from the data of the study by FORTI et.al (2020). The results obtained show that the municipality of Uberlândia generated 3,600,474.933 kg of e-waste and metals from this amount of mass would have the added value of approximately 20.6 million of Reais. The difficulty of reverse logistics not working, the lack of environmental education for the population, and the lack of incentive for the private recycling sector to ensure that these wastes are disposed of incorrectly, generating waste of natural resources, polluting the environment with their heavy metals and putting them at health risk waste pickers. Considering that Brazil sells at a lower price so that other countries can recycle it. Through this study, it is concluded that there is no effectiveness in the actions of those involved in alerting the population about wasting and risks to the environment, the public sector how much it needs more policies effective ensuring reverse logistics and the private sector as many opportunities for new ventures.

Keywords: electronic waste. WEEE. amount of metals. added value.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 OBJETIVO GERAL.....	7
3 OBJETIVO ESPECÍFICO	7
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	8
4.1. Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (reee)	8
4.2. Composição dos reee	10
4.3. Quantificação da geração de reee.....	14
4.4. Impactos da destinação inadequada dos reee	16
4.5. Valor econômico do reee	18
4.6. Mineração urbana	19
5. METODOLOGIA.....	21
5.1. Local de estudo	21
5.2. Identificação da quantidade de reee gerados pelo município de uberlândia	22
5.3. Identificação da quantidade de metais preciosos gerados por esses resíduos.....	23
5.4. Estimativa do valor monetário a partir dos reee	24
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
6.1. Quantidade de reee gerados pelo município de uberlândia.....	25
6.2. Quantidade de metais preciosos gerados por esses resíduos.....	25
6.3. Estimativa do valor monetário a partir dos reee.....	27
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
REFERÊNCIAS	30

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), popularmente chamado de lixo eletrônico, são equipamentos em desuso ou sujeitos a disposição final e são compostos por celulares, televisores, eletrodomésticos portáteis, computadores, equipamentos da tecnologia da informação, assim como seus componentes e os acumuladores de energia. As fontes destes resíduos podem ser diversas, podendo ser: domésticas, industriais, comerciais e do setor de serviço (NASCIMENTO; OLIVEIRA, 2010, p.242).

Conforme o sistema financeiro se distribui pelo mundo gerando diversas modalidades de crédito e crediário, atingem as classes sociais mais pobres que junto com a obsolescência programada das mercadorias e o alto investimento em publicidade acabam por estimular a prática de consumo (SANTOS, 2017). Com este consumo o Brasil, apesar de não ser o país mais rico das Américas, produziu, em 2019, 2,143 milhões de toneladas de REEE se tornando o segundo país que mais produz este tipo de resíduo no continente americano (FORTI et.al,2020).

Atualmente os problemas que os países enfrentam quanto aos resíduos eletroeletrônicos estão nas práticas inapropriadas de sua gestão, no seu tratamento, na importação ilegal e na destinação inadequada. Esses entraves para uma boa gestão causam problemas a saúde pública por conta da contaminação por substâncias tóxicas, porém a reutilização e a reciclagem dos REEEs podem aliviar o uso de recursos naturais além de reduzir a contaminação ambiental se tornando um modelo de negócio ambientalmente sustentável (REFINGO; CRUZ; BETANCOURT, 2018).

A maioria dos países da União Europeia alcançaram a meta implementada de um sistema interno que tem por objetivo o reaproveitamento dos equipamentos eletroeletrônicos e a reciclagem, para que assim possam diminuir 4kg/hab.ano (YLÄ-MELLA et al., 2015). Essa grande participação dos países deve-se à presença de metais preciosos na composição dos REEE com alto potencial de reciclagem. Porém, esses metais, representam um grau considerável de periculosidade quando manuseado ou destinado de forma incorreta colocando em risco a vida humana e o meio ambiente. (CAETANO, 2019)

Os recursos naturais usados para produção de equipamentos eletroeletrônicos possuem taxas de reciclagem que ultrapassam 50%, sendo eles: alumínio, chumbo, cromo, titânio, manganês, rênio, ferro, paládio, cobalto, níquel, cobre, zinco, nióbio, prata, estanho, platina e

ouro (PACE, 2019). O processo de reciclagem para esses recursos aliviaria a necessidade de recursos vindos da mineração, diminuindo também a emissão de carbono no processo (FORTI et.al,2020).

A maior parte dos países da América latina enviam seus REEEs para outros países (DELGADO, 2013), como a China que recebe 70% de todo os REEE produzidos no mundo (ZHENG et al,2013). No Brasil há ações para apoiar programas de incentivo a reciclagem, reuso e reaproveitamentos dos materiais advindos de recursos naturais (BRASIL,2010), isto apresenta o interesse quanto a não exportação desses resíduos que são motivados por questões ambientais e comerciais (AZEVEDO et al., 2012).

A recuperação dos REEE é um processo mais simples do que a extração da matéria prima, gera menos poluição do que as atividades primárias e tem um consumo energético menor (RIBEIRO, 2013).

A mineração urbana se apresenta como novo conceito de obtenção de recursos naturais (NICOLAI, 2016), e visto que não se sabe do quanto se produz e de quanto de valor agregado há nos metais dos REEE, este trabalho visa quantificar os metais contidos no resíduo eletrônico que a cidade de Uberlândia, em Minas Gerais, produziu em 2021, e calcular o valor agregado desses metais.

O trabalho presente tem como benefício proporcionar um melhor entendimento dos valores agregados a reciclagem dos REEE que são gerados em Uberlândia, para que desta forma desperte a iniciativa dos interessados na sua gestão e com isso conscientize ambientalmente a população sobre o descarte, incentive a logística reversa e alivie a necessidade da mineração e seus impactos.

2. OBJETIVO GERAL

Identificar e estimar os valores das quantidade de metais recicláveis gerados no município de Uberlândia a partir do REEE.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar a quantidade de REEE gerados pelo município de Uberlândia;

2. Identificar a quantidade de metais preciosos gerados por esses resíduos;
3. Estimar o valor monetário a partir dos REEE gerados em Uberlândia.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE)

Os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos vêm se tornando motivo de discussão e análise em todo o mundo, e muitas instituições, sejam elas públicas ou privadas, estão cada vez mais dispostas a ter uma boa gestão destes resíduos. A quantificação da geração de REEE em uma região é um valor fundamental para que se comece a executar um planejamento que vise o reaproveitamento, o reuso e a reciclagem dos resíduos.

Nos últimos anos com os avanços tecnológicos e a expansão da internet e da infraestrutura tecnológica, houve também um aumento no consumo de equipamentos eletroeletrônicos, como os celulares e os computadores, atingindo toda a América Latina (SCURO, 2014). Com a necessidade de crescimento do mercado tecnológico houve a venda de outros tipos de equipamentos eletrônicos que contribuem para o aumento na geração de resíduos pelo mundo.

Segundo Forti et al. (2020), em 2019 o planeta Terra gerou 53,6 milhões de toneladas de REEE e apenas 17,4% desse resíduo foi reciclado, estima-se que em 2030 cresça para 74,7 milhões de toneladas de resíduo eletrônico produzido no ano. Atualmente vários países criaram legislações que enquadram o REEE para que haja uma destinação correta e diminua seu impacto no meio ambiente.

Os consumidores e fabricantes de equipamentos eletroeletrônicos são pressionados a buscarem uma destinação ambientalmente responsável do produto usado, e a logística reversa é a alternativa imposta pelos regulamentos e pelas sensibilizações ambientais. (NASCIMENTO, 2018). A responsabilidade do consumidor para com seu resíduo e do fabricante, para com seu produto são pontos importantes no funcionamento da logística reversa.

De acordo com Leite (2003), a logística reversa é o planejamento para que se possibilite o retorno dos bens ou dos materiais que o compõe ao ciclo produtivo, agregando valor econômico, ambiental, legal e de localização. Portanto o fabricante deve se atentar em como é feita a coleta do resíduo, com o que pode ser reaproveitado e com a quantidade de produtos vendidos para que assim ele possa ter uma dimensão de sua atuação no meio.

Na logística reversa, a Suíça foi um dos primeiros países a tomar iniciativa e implementar uma organização de coleta e reciclagem do seu REEE, e com isso acabando por incentivar para que cada país organize sua forma de lidar com o que é gerado internamente (DEMAJOROVIC, 2016). Com várias estruturas de logística reversa que foram implementadas em vários países diferentes em diversos aspectos tem-se cenários diferentes em cada um deles, conforme indicado no Quadro 1.

Quadro 1 – Características dos modelos de logística reversa.

	Suíça	Suécia	China	Brasil
Governo	Ativo	Ativo	Ausente	Ativo
Indústria	Gestão Total	Transporte /Reciclagem	Navios de REEE	Gestão Total
Consumidores	Paga uma taxa para que retorne ao fabricante	Retorna o REEE ao fabricante	-	Retorna o REEE ao fabricante
Trabalhadores informais	-	-	Excluídos	Sem treinamento
Geração de REEE	9kg/hab.ano	16kg/hab.ano	Falta indicadores consistentes	Falta indicadores consistentes

“-“ : Não há informações conclusivas.

Fonte: Adaptado de Demajorovic (2016)

Diferente do cenário ausente chinês para o cenário brasileiro o governo instituiu leis para que houvesse uma melhor destinação do REEE, porém fica por responsabilidade do consumidor retornar o produto ao fabricante, tornando a gestão do resíduo difícil, visto que ainda há a carência de indicadores consistentes da quantidade gerada.

No Brasil tem-se uma gestão total da logística reversa por parte do setor privado, isso se deve a lei federal 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), e segundo a lei:

Logística reversa: 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).

Portanto, boa parte dos consumidores descartam seus resíduos eletrônicos junto com o resíduo domiciliar comum e como consequência esse resíduo é tratado como resíduo domiciliar, transportado para um aterro sanitário comum ou incinerado. Ambos tratamentos não são considerados técnicas apropriadas para REEE, pois com isso poderiam impactar negativamente o meio ambiente e perder o recurso agregado ao resíduo que não foi reciclado (FORTI et al.,2020).

Para ampliar pontos de coleta destes resíduos e auxiliar na informação referente aos REEE, foi assinado, em 2019, um acordo setorial que fortalece ainda mais a PNRS, nele estabelece a obrigatoriedade da logística reversa e a participação de fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos eletroeletrônicos na coleta dos resíduos (MMA,2019).

Este acordo setorial garante certa viabilidade a logística reversa no Brasil, porém ainda há numerosos desafios para que seu processo se torne efetivo como :a) falta de consistência na classificação dos REEE , ocasionando problemas quanto as obrigações de segurança ambiental; b) falta de incentivo fiscal ou subsídios as empresas recicladoras; c) falta de canais de coleta de REEE eficientes; d) falta de tecnologia em território nacional para o aproveitamento de metais em circuitos impressos e outros, de forma que empresas estrangeiras são quem concluem esse processo (SANTOS, 2020).

4.2. Composição dos REEE

A composição de um REEE pode variar de acordo com as categorias que se encontram ali dispostas, categorias estas que auxiliam quanto ao planejamento de um tratamento de um tipo de resíduo específico e dessa forma participam de um tratamento igual por possuir características semelhantes.

Segundo Baldé (2015) os REEE podem ser categorizados em 6 grupos: a) equipamentos de mudança de temperatura, como freezer, geladeira e ar-condicionado; b) telas e monitores, como tablet, televisores, monitores, notebooks e laptops; c) lâmpadas; d) grandes equipamentos, como painéis fotovoltaicos, fogões elétricos e máquinas de lavar; e) pequenos equipamentos, como câmeras, brinquedos elétricos, torradeira, pequenos equipamentos

médicos, forno micro-ondas e ventiladores; f) pequenos equipamentos em TI, como telefone celulares, calculadoras, impressoras, mouses e teclados.

Dentre os resíduos produzidos no planeta Terra 20,15% da massa de todo o REEE é de equipamentos de mudança de temperatura, 12,5% de telas e monitores, 1,7% de lâmpadas, 24,43% grandes equipamentos, 32,46% de pequenos equipamentos e 8,76% de pequenos equipamentos de TI (FORTI et al., 2020).

Na maior parte do Brasil utiliza-se a categorização da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, nela os REEE são divididos em 4 categorias: a) Linha Branca, onde se enquadram refrigeradores, fogões, lavadoras de roupa e louça, secadoras, ar-condicionado; b) Linha Marrom, onde se enquadram monitores, televisores, aparelhos de DVD e VHS, equipamentos de áudio, filmadoras; c) Linha Azul, onde se enquadram batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos, furadeiras, secadores de cabelo, espremedores de frutas, aspiradores de pó, cafeteiras; d) Linha Verde, onde se enquadram computadores, acessórios de informática, tablets e telefones celulares (ABID, 2013).

A divisão dos REEE, em categorias, facilita quanto aos processos de tratamentos que visam reciclar alguns dos elementos presentes, podendo variar de acordo com as necessidades e legislações locais. A diversidade de elementos é o que torna o resíduo complexo, pois no REEE há 69 elementos da tabela periódica em proporções diferentes, incluindo metais preciosos (FORTI et al., 2020).

Parte da complexidade de compreender o REEE e as quantidades de cada elemento que o compõe se inicia na quantificação da geração de resíduo eletrônico, que depende do tempo de vida útil do equipamento eletroeletrônico obtido e os pesos que são distintos entre um equipamento e outro. O Quadro 2 apresenta o tempo de vida útil médio e o peso médio de alguns equipamentos eletroeletrônicos.

Quadro 2 – Equipamentos eletroeletrônicos: peso médio e tempo de vida útil médio

Equipamentos	Tempo de vida útil médio (ano)	Peso médio (kg/uni)
Aparelho de som	8	4,6
Aspirador de pó	7	6
Barbeador	4	0,2
Batedeira	4	2,2
Computador	7	15

DVD	7	3,2
Ferro de passar	4	1,2
Freezer	11	52
Furadeira	7	1,7
Geladeira	11	61
Impressora	7	5,6
Liquidificador	4	2,9
Máquina de lavar roupa	11	42
Microondas	7	15
Monitor CRT	12	15
Monitor LCD	9	4,8
MP3/MP4	2	0,1
Notebook	7	2,9
Rádio	8	1
Sanduicheira/Torradeira	4	2,7
Secador/Chapinha	4	0,5
Telefone Celular	4	0,1
Televisor	12	31
Televisor LCD	7	15
Ventilador	8	2,6
Vídeocassete	9	3,8

Fonte: Adaptado de Rodrigues, Gunther e Boscov (2015).

De acordo com o Quadro 2, os EEE da linha marrom têm um tempo de vida útil médio que varia de 7 a 12 anos, os da linha branca, azul e verde variam, respectivamente, de 7 a 11, 4 a 8 e 2 a 7 anos. O peso médio dos produtos da linha marrom é de 9,8kg/unidade, os da linha branca, azul e verde são, respectivamente, 42,5, 2,2 e 4,74kg/unidade.

Na linha verde os microcomputadores, no qual se enquadram os computadores e o notebooks, apresentam uma composição que contém diversos elementos em quantidades diferentes. O Quadro 3 apresenta a quantidade média que esses elementos representam do peso do produto e qual o aproveitamento pode-se obter pela reciclagem.

Material	% em relação ao peso total	% reciclável
Alumínio	14,172	80
Chumbo	6,298	5
Ferro	20,471	80
Estanho	1,007	70
Cobre	6,928	90
Bário	0,031	0
Níquel	0,850	80
Zinco	2,204	60
Berílio	0,015	0
Ouro	0,016	98
Manganês	0,031	0
Prata	0,018	98
Cromo	0,006	0
Cádmio	0,009	0
Mercúrio	0,002	0
Sílica	24880	0

Fonte: Adaptado de Rocha, Ceretta e Carvalho (2010) apud Microelectronics and Computer Technology Corporation(2000).

Os microcomputadores têm taxas de aproveitamento na reciclagem para cada material diferente que o compõe e para os REEE em geral não é tão diferente, visto que não se consegue reciclar todo o material utilizado na fabricação. Em 2019, estimou que poderia ser reciclado aproximadamente 47% do volume de REEE que foi gerado naquele ano (FORTI et al., 2020).

O REEE misto é quando não houve a separação em categorias, considerando todos os tipos de equipamentos eletroeletrônico que contribuíram para essa geração. O Quadro 4 apresenta alguns metais presentes em um REEE misto e a porcentagem que representa do peso.

Quadro 4 – REEE misto: metais recicláveis e porcentagem em relação ao peso total

Elemento	% em relação ao peso total	Elemento	% em relação ao peso total
Prata	0,0022388	Índio	0,0003731

Alumínio	5,6828358	Irídio	0,0000019
Ouro	0,0003731	Ósmio	0,0000187
Bismuto	0,0001866	Paládio	0,0001866
Cobalto	0,0242537	Platina	0,0000037
Cobre	3,3731343	Ródio	0,0000187
Ferro	38,182836	Rutênio	0,0000006
Germânio	0,0000187	Antimônio	0,1417910

Fonte: Adaptado de FORTI et al. (2020).

Os metais representam uma significativa parcela da composição, tendo metais preciosos, metais bases e metais tóxicos (XAVIER; CARVALHO, 2014). Além dos metais, o plástico representa 20% em relação do peso total e na composição do REEE misto também contém vidro, borracha, madeira, cerâmica e outros (WIDMER et al., 2005).

Na recuperação de materiais, os metais preciosos se tornam o principal motivo para a reciclagem dos REEE, pois o preço pago por eles é maior do que metais comuns. O valor agregado ao REEE impulsiona o investimento em formas de otimizar a recuperação desses materiais (DAVENPORT et al., 2002).

4.3. Quantificação da geração de REEE

Para um bom planejamento e implantação da logística reversa, em um local de interesse, é necessário ter conhecimento dos desafios e do perfil de geração e descarte dos REEE, criando um sistema de gestão eficiente para que ações inadequadas no descarte, tratamento e disposição final não prejudiquem o meio ambiente (RODRIGUES; GUNTHER; BOSCOV, 2015).

De acordo com Pessanha e Morales (2017), é fundamental ter uma previsão de forma mais precisa da geração atual e futura dos REEE, e assim estimar parte do conteúdo tóxico gerado e quantificar o potencial do resíduo. Uma previsão como essa pode auxiliar no planejamento de políticas públicas mais eficientes para os REEE, melhorando o monitoramento de sua implementação do âmbito federal até o municipal.

Em 2019 a geração per capita no Brasil foi de 10,2 kg de REEE, esse valor foi alcançado avaliando os equipamentos eletroeletrônicos que estão no mercado brasileiro e seus tempos de vida útil (FORTI et al., 2020). A quantidade de resíduo eletrônico produzido em uma região é

importante para que a atuação dos municípios seja efetiva na educação ambiental e na abertura de pontos de coleta para a logística reversa.

Apresenta-se a seguir algumas formas para avaliação da quantidade de REEE gerado:

4.3.1 Modelo de avaliação para os Suprimento do Mercado

Trata-se de um modelo que avalia a geração pelas vendas dos produtos em todos os anos de uma série histórica e sua respectiva taxa de obsolescência no ano de interesse (EU, 2017).

$$W(n) = \sum_{t=t_0}^n POM(t) \cdot L^{(p)}(t, n) \text{ (Equação 1)}$$

Sendo $W(n)$ a quantidade de REEE no ano n , $POM(t)$ o histórico de vendas de um equipamento para o ano t e t_0 o ano em que o equipamento é inserido no mercado. $L^{(p)}(t, n)$ é uma taxa probabilística que avalia a obsolescência do produto vendidos no ano t em uma avaliação feita para o ano n .

4.3.2 Modelo de avaliação do consumo e uso

É um modelo em que sua metodologia calcula volume de REEE com base nas variáveis de tempo de vida útil e no nível de saturação do mercado (ABDI, 2013).

$$W = \frac{\text{Quantidade REEE}}{\text{Tempo de vida útil}} \text{ (Equação 2)}$$

Onde W representa a quantidade de REEE por ano.

4.3.3 Fórmula de KUSH e HILLS

A fórmula de KUSH e HILLS (2017) é obtida por meio de uma regressão linear, sendo esta construída com dados de geração de REEE obtidos para 50 países, gerando uma relação de geração de REEE com o PIB per capita.

$$y = 0,489x \text{ (Equação 3)}$$

Onde y é a geração de REEE em kg/habitante e o x é o PIB per capita em mil dólares.

A fim de ter menos impactos negativos apresenta-se um cenário melhor para uma otimização do sistema de logística reversa por ter várias formas de se calcular a quantidade de REEE gerado por uma região, dependendo de algumas informações como a quantidade de produto no mercado, o peso do produto, o tempo de vida útil e até mesmo o PIB.

4.4. Impacto da destinação inadequada dos REEE

O impacto que ocorre em uma destinação inadequada de REEE afetará o meio ambiente e, por consequência, a saúde humana. (XAVIER; CARVALHO, 2014). No Brasil se enfrenta o desafio da falta de políticas tecnológicas e educacionais eficiente, desta forma o impacto continua a ser gerado se tornando um assunto de grande importância (RIBEIRO; SILVA, 2012).

A União Europeia faz um controle dos REEE que contém produtos tóxicos ou metais pesados, pois o objetivo é de frear ou até mesmo cessar a quantidade dos mesmos que fica disponível para o consumo em seu território (LEITE; LAVEZ, 2009). Um controle como esse facilita quanto ao tratamento, dessa forma também pode-se avaliar os riscos na manipulação e na destinação inadequada.

A renda de alguns catadores vem da manipulação de REEE, mas isso pode causar impactos negativos, visto que quem manipula está expondo sua saúde sem reconhecer os riscos, além de prejudicar o meio ambiente. Casos como o aparelho radiológico contendo uma cápsula de césio-137 que foi manipulada sem conhecimento das consequências, gerou impactos diretos e indiretos em toda a região de Goiânia (VIEIRA, 2013).

Há no Brasil um aumento na busca de REEE por parte das cooperativas de catadores de materiais recicláveis, isso se dá pelo produto ser rentável e parte dele ser até exportado, porém para a exploração dessa rentabilidade é necessário o desmanche manual e a separação dos componentes (GOUVEIA et al., 2019).

Segundo Caetano et al. (2019), os riscos à saúde de quem manipula os REEE podem ser provocados por: incêndio, choque elétrico, objetos cortantes, exposição a gases tóxicos e contato direto com o material contaminante. Dessa forma é necessário algum treinamento aos catadores para evitar problemas respiratórios, queimaduras e até a morte

Além dos componentes que são separados, há também a tentativa de aproveitamento de metais de forma artesanal no Brasil por parte de associação de catadores de recicláveis, porém

muitos dos trabalhadores não conhecem o potencial tóxico para este processo e tampouco a sua forma ambientalmente adequada de disposição final (FRANCO,2008).

O descarte de REEE, quando feito indevidamente, acaba lixiviando os metais pesados que estão presentes como chumbo, níquel cádmio, mercúrio, cobre, zinco, manganês, prata entre outros, e esses metais contaminam e infiltram no solo chegando ao lençol freático que por vez afeta a fauna e a flora da região (KEMERICH, 2013 apud ROA, 2009).

Cerca de 70% dos metais pesados que estão presente no meio ambiente, atualmente, são localizados na disposição final do resíduo e os REEE contribuem de forma maioritária, pois a disposição feita de forma inadequada acaba por contribuir para o aumento na concentração de metais pesados da região (SANTOS; SOUZA, 2010).

A contaminação por metais pode se apresentar na água, no solo e no sedimento gerando diversos problemas a curto e a longo prazo, ocorre também um prejuízo na manutenção das vidas terrestres e aquáticas das quais o homem pode ser alvo direto ou indireto. O impacto ambiental negativo pode variar de acordo com os usos da água e do solo e o nível de toxicidade (RIBEIRO et al., 2012).

Os corpos hídricos quando contaminados com metais pesados tem impactos significativos na biota aquática e na saúde humana. Alguns seres vivos utilizam de metais pesados como micronutrientes, mas com um aumento da concentração, seja por bioacumulação ou não, se tornam tóxicos e alguns outros metais pesados são naturalmente tóxicos até em pequenas quantidades (RIBEIRO et al., 2012).

Os perigos dos metais pesados na saúde só foram introduzidos após a revolução industrial, e atualmente sabe-se que a absorção dos metais pode ocorrer pelo organismo humano por inalação, ingestão e através da pele (WOLFF; CONCEIÇÃO, 2003). Hoje em dia com a revolução tecnologia e os REEE aumentando, essa discussão se torna significativa para avaliar todo seu impacto na vida humana.

Alguns dos elementos presentes no REEE quando liberados no meio ambiente podem ser passados das mães para suas crianças durante a gravidez e a amamentação. Entretanto há outras formas das crianças pequenas ficarem expostas a tais elementos seja brincando fora de casa ou na natureza quando ocorre o contato ou a ingestão do solo contaminado (LANDRIGAN; GOLDMAN, 2011).

Um elemento que se apresenta em boa parte dos REEE é o chumbo, e a intoxicação por ele pode levar a anemia, neuropatia periférica, alterações cognitivas, complicações renais,

hipertensão, doenças cerebrovasculares, perda de apetite, distúrbios digestivos e cólicas abdominais atingindo adultos e crianças (ROSENSTOCK; CULLEN, 1994).

Vários ambientes sofrem prejuízos pelo manejo inadequado do REEE, que acaba por gerar desperdício que contribui para as desigualdades sociais, ameaça à saúde pública, agrava a degradação ambiental e compromete a qualidade de vida da sociedade. Por isso para os REEE devem ter como objetivos reduzir a geração, evitar com que sejam descartados em aterros sanitários e optar pela reutilização e reciclagem (SILVA; CASTRO, 2017).

De acordo com Trigueiro (2005), não é só na disposição final dos REEE que se encontra o prejuízo ao meio ambiente, na produção de computadores são utilizados vários tipos de materiais cada qual com seu impacto quando explorado. Além do impacto na exploração de matérias primas, para a fabricação de um computador é utilizado aproximadamente 240kg de combustíveis fósseis em várias etapas da sua construção.

Os REEE e a preocupação ambiental foram aumentando conjuntamente no ritmo em que a tecnologia avançou nos últimos anos (MATTOS; MATTOS; PERALES, 2008), e devido a poluição de grandes áreas com a liberação de substâncias tóxicas houve uma necessidade maior de conhecer sobre a composição existente em um REEE.

4.5. Valor econômico do REEE

O EEE quando não apresentam possibilidade de utilização de acordo com a funções originais se torna um resíduo. O produto tratado como REEE passa a ter mais valor agregado do que como produto pós-consumo, em outras situações os materiais provenientes da desmontagem do produto apresentam valor de mercado e estimula os processos de reaproveitamento de materiais residuais (XAVIER; CARVALHO, 2014).

A demanda por matérias-primas para a fabricação de novos equipamentos eletroeletrônicos é alta, pois em 2019 foi utilizado 39 milhões de toneladas de ferro, alumínio e cobre para a fabricação de novos produtos (FORTI et al., 2020). Dessa forma se faz necessário o reaproveitamento dos REEE para obtenção desses materiais e possível alívio na extração mineral.

Na separação de componentes tóxicos ou valiosos da sucata dos equipamentos eletroeletrônicos ocorre um processo chamado de desmantelamento. O processo de

desmantelamento otimiza as etapas subsequentes de tratamento e destinação dos resíduos, pois nele ocorre a separação dos componentes eletrônicos do resíduo (LI et al., 2004).

Os componentes valiosos após a separação podem ser recuperados com alguns processos físico-químicos, para posteriormente serem inseridos no mercado ou no ciclo produtivo de uma empresa que utiliza da logística reversa. O Quadro 5 apresenta os valores, em mil dólares, da tonelada para cada tipo de metal.

Quadro 5 – Valor médio por tonelada de cada elemento

Elemento	Valor (mil USD) por tonelada	Elemento	Valor (mil USD) por tonelada
Prata	482,500	Índio	85,000
Alumínio	1,990	Írídio	5.000,000
Ouro	47.405,000	Ósmio	10.800,000
Bismuto	13,000	Paládio	35.320,000
Cobalto	79,692	Platina	35.500,000
Cobre	6,062	Ródio	32.000,000
Ferro	1,204	Rutênio	10.000,000
Germânio	40,000	Antimônio	8,474

Fonte: Adaptado de FORTI et al., 2020

A recuperação de metais em REEE pode apresentar uma opção mais sustentável do que a mineração convencional, pois na reciclagem há uma emissão menor de dióxido de carbono e a destinação correta do resíduo (FORTI et al., 2020). O mercado necessita dessas alternativas, visto que não tem um substituto viável para os metais utilizados e qualquer mudança nos elementos metálicos teria um impacto significativo na sua performance (GRAEDEL et al., 2015).

4.6. Mineração Urbana

A mineração urbana é um novo conceito de mineração sustentável, na qual a recuperação dos metais é advinda dos resíduos eletroeletrônicos e essa nova forma de mineração se apresenta comercialmente e ambientalmente valiosa (NICOLAI, 2016).

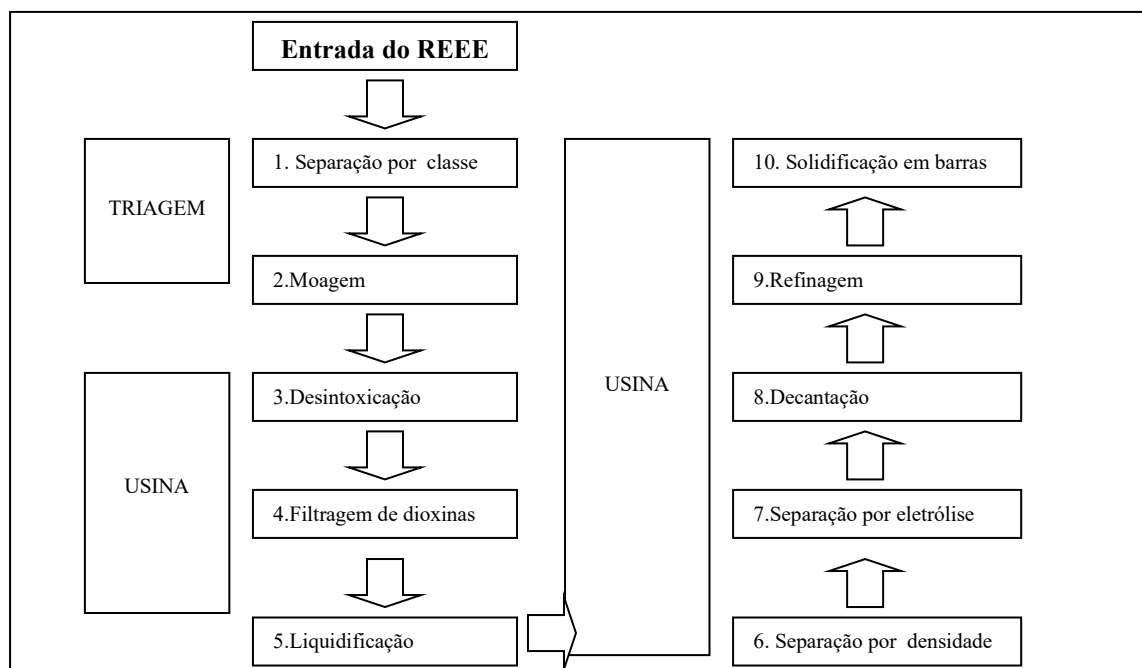
A mineração convencional comparada a mineração urbana apresenta algumas desvantagens ambientais, visto que toda atividade da mineração convencional implica na supressão de vegetação ou há o impedimento da sua regeneração. Além da supressão, impactos no solo como erosão após a manipulação do solo e consequentemente o assoreamento dos corpos d'água no entorno (MECHI; SANCHES, 2010).

Inserida no macro modelo de economia circular a mineração urbana atua de modo a gerar novas oportunidades como o aumento de empregos disponíveis e de renda e a valorização de matéria-prima secundária para a reinserção no ciclo produtivo (XAVIER, 2019).

Conforme Nicolai (2016), o modo mais eficaz e apropriado para se tratar o REEE é feito localmente e definindo as responsabilidades. A responsabilidade do descarte e do tratamento deve ser compartilhada, na qual se enquadram as empresas produtoras, os consumidores, as associações e/ou cooperativas de catadores e o governo.

No Brasil quase todas cooperativas que trabalham com REEE fazem apenas o desmanche para a venda das peças a baixos preços e posteriormente enviam o resíduo para a exportação. De acordo com Ribeiro e Silva (2012), algumas empresas estrangeiras que realizam a captação do REEE no Brasil levam o resíduo para que os metais sejam recuperados fora. Na Figura 1 está representado as etapas do processo em uma empresa de Cingapura.

Figura 1 – Processo de recuperação de metais de uma empresa em Cingapura



Fonte: O autor

Nas usinas o processo de mineração urbana na recuperação de ouro, em comparação com a mineração aurífera, avalia que se pode recuperar em 5 toneladas de REEE a mesma quantidade que em 60 toneladas de minério aurífero, dado o grau de pureza utilizado no equipamento eletroeletrônico (CUI; ZHANG, 2008).

De acordo com Fernandez (2012), com todas as etapas desde a geração entende-se a importância da mineração urbana, que apresenta um impacto positivo nas medidas socioambientais, no crescimento de estudos e pesquisas tecnológicas relacionados à reciclagem e recuperação de materiais essenciais e valiosos e assim aumentando cada vez mais o aproveitamento nos processos aplicados.

Na mineração urbana brasileira o processo é realizado após a captação do REEE e apresenta-se da seguinte forma: a triagem é feita separando as partes mais valiosas dos resíduos de forma manual. O restante é, ocasionalmente, moído para posteriormente ser colocado em contêineres e exportado para as usinas estrangeiras (RIBEIRO; SILVA, 2012).

O REEE que é exportado por preço irrisório, prejudica a economia circular visto que o que é gerado não volta para o mesmo lugar. A economia circular se baseia em objetivos como: manter os equipamentos eletroeletrônicos em uso por mais tempo, utilizar a reutilização e a reforma, reduzir a geração, ampliar a recuperação de materiais e utilizar mais matérias primas secundárias nos ciclos produtivos (REFINGO; CRUZ; BETANCOURT, 2018).

A mineração urbana se apresenta como uma opção para lidar com o REEE e seu descarte inadequado quando ocorre a intervenção humana no meio ambiente, para isso se faz necessário uma análise interdisciplinar que enquadre a mineração urbana, a economia circular e a ecologia política (REFINGO; CRUZ; BETANCOURT, 2018). Com a contribuição individual e coletiva pode se minimizar as perturbações ao meio ambiente agindo de forma mais sustentável e responsável.

5. METODOLOGIA

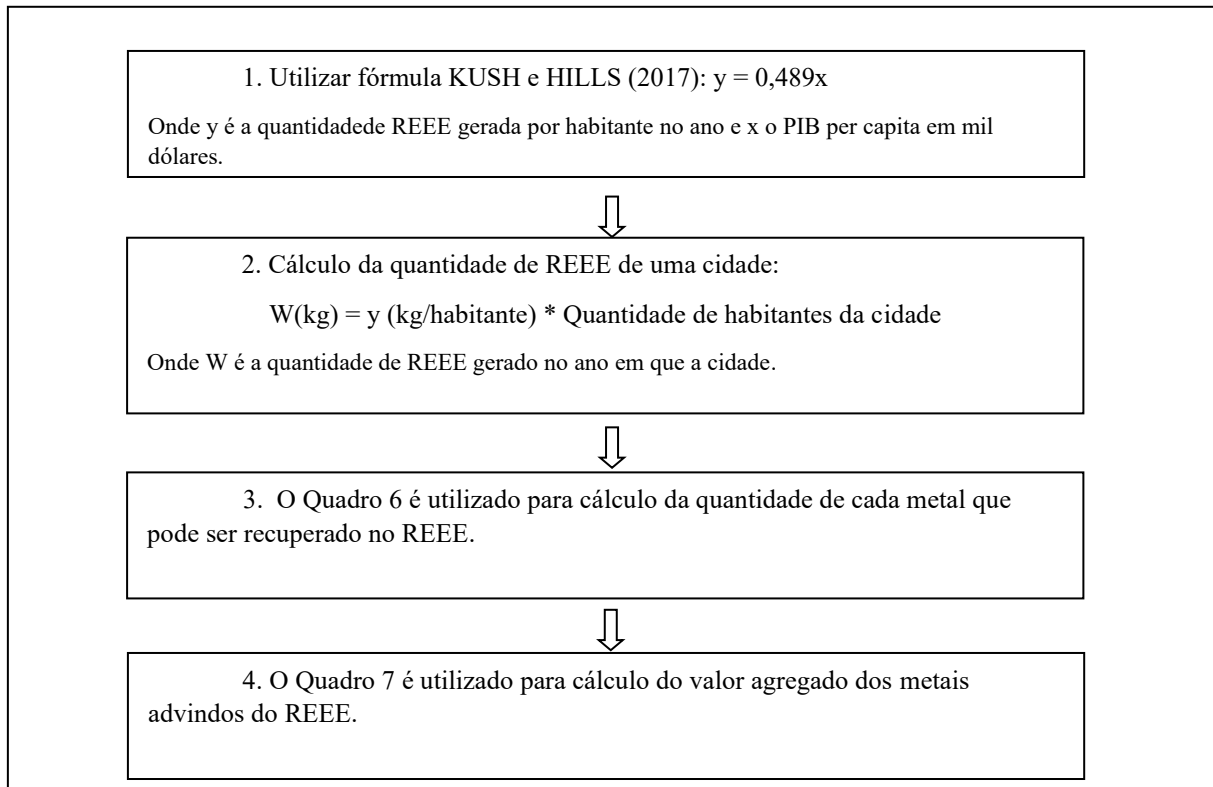
5.1. Local de estudo

A cidade na qual o trabalho foi desenvolvido é Uberlândia, unidade federativa do estado de Minas Gerais, que se localiza no sudeste brasileiro. A população estimada de Uberlândia para 2021 é de 706597 habitantes, pelo último censo o PIB per capita foi de, aproximadamente, 10231,96 dólares (IBGE, 2020).

5.2. Identificação da quantidade de REEE gerados pelo município de Uberlândia

Para o cálculo da quantidade de REEE gerada em Uberlândia seguiu o seguinte esquema, apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma da metodologia utilizada



Fonte: O autor

Para este trabalho utilizou-se da fórmula de KUSH e HILLS (2017) para calcular quantos quilogramas de REEE misto são gerados em Uberlândia. Para isso utilizou-se da equação representada na Equação (3).

$$y = 0,489x \text{ (Equação 3)}$$

Onde y é a geração de REEE em kg/habitante e o x é o PIB per capita em mil dólares.

Para calcular a quantidade de REEE geração em toda a cidade utilizou-se da Equação (4)

$$W = y * n^{\circ} \text{ de habitantes (Equação 4)}$$

Onde W é a quantidade, em quilogramas, de REEE gerado em Uberlândia para 2021 e o n° de habitantes é o número estimado de habitantes em Uberlândia para 2021.

5.3. Identificação da quantidade de metais preciosos gerados por esses resíduos

No Quadro 6 avalia-se as toneladas de cada elemento contidas no resíduo eletrônico de Uberlândia em 2021, este quadro é uma adaptação do Quadro 4 onde é apresentado as proporções de cada elemento em um REEE misto.

Quadro 6 – Cálculo da quantidade em toneladas de metais recuperáveis no REEE gerado em Uberlândia

Elemento	Q (Quantidade em toneladas)	Elemento	Q (Quantidade em toneladas)
Prata	$((W * 0,0022388) / 100) / 1000$	Índio	$((W * 0,0003731) / 100) / 1000$
Alumínio	$((W * 5,6828358) / 100) / 1000$	Írídio	$((W * 0,0000019) / 100) / 1000$
Ouro	$((W * 0,0003731) / 100) / 1000$	Ósmio	$((W * 0,0000187) / 100) / 1000$
Bismuto	$((W * 0,0001866) / 100) / 1000$	Paládio	$((W * 0,0001866) / 100) / 1000$
Cobalto	$((W * 0,0242537) / 100) / 1000$	Platina	$((W * 0,0000037) / 100) / 1000$
Cobre	$((W * 3,3731343) / 100) / 1000$	Ródio	$((W * 0,0000187) / 100) / 1000$
Ferro	$((W * 38,182836) / 100) / 1000$	Rutênio	$((W * 0,0000006) / 100) / 1000$
Germânio	$((W * 0,0000187) / 100) / 1000$	Antimônio	$((W * 0,1417910) / 100) / 1000$

Fonte : O autor

A Equação (5) é uma representação da fórmula utilizada no Quadro 6 para que se encontre os valores da quantidade em tonelada.

$$Q = (W * \%elemento) / 1000 \text{ (Equação 5)}$$

Onde Q é a quantidade do elemento específico em tonelada e W é a quantidade, em quilogramas, do REEE total gerado por Uberlândia em 2021.

5.4. Identificação do valor monetário a partir dos REEE

No Quadro 7 calcula-se o valor monetário agregado a quantidade de elementos disponíveis para ser recuperados que estão presentes no REEE de Uberlândia em 2021. Neste quadro são utilizados os valores do Quadro 5, no qual foi adaptado de FORTI et al (2020).

Quadro 7 – Cálculo do valor agregado aos metais advindos do REEE em Uberlândia

Elemento	V (Valor em dólares)	Elemento	V (Valor em dólares)
Prata	(Q*482,500*1000)	Índio	(Q*85,000*1000)
Alumínio	(Q*1,990*1000)	Írídio	(Q*5.000,000*1000)
Ouro	(Q*47.405,000*1000)	Ósmio	(Q*10.800,000*1000)
Bismuto	(Q*13,000*1000)	Paládio	(Q*35.320,000*1000)
Cobalto	(Q*79,692*1000)	Platina	(Q*35.500,000*1000)
Cobre	(Q*6,062*1000)	Ródio	(Q*32.000,000*1000)
Ferro	(Q*1,204*1000)	Rutênio	(Q*10.000,000*1000)
Germânio	(Q*40,000*1000)	Antimônio	(Q*8,474*1000)

Fonte: O autor

A Equação (6) é uma representação da fórmula utilizada no Quadro 7 para que se encontre os valores, em dólares, de acordo com a quantidade do elemento presente no REEE.

$$V = (Q * v) \text{ (Equação 6)}$$

Onde V é o valor monetário da quantidade do elemento, Q é a quantidade do elemento específico em tonelada e v é o preço de mercado pago por tonelada, usualmente dado em 10³ dólares.

Como última etapa, a soma do valor de cada elemento para cálculo do valor agregado advindo dos metais presentes no REEE que é gerado por Uberlândia em 2021.

6. RESULTADO E DISCUSSÕES

Conforme a metodologia apresentada, este capítulo tratará sobre os resultados com as devidas discussões que trarão uma melhor visualização do cenário.

6.1. Quantidade de REEE gerados pelo município de Uberlândia

A estimativa da geração de resíduos advindos de equipamentos eletroeletrônicos em uma cidade é importante para que se tenha uma melhor gestão dos mesmos. Neste trabalho calculou-se, através do método da Fórmula de KUSH e HILLS na Equação (3) a geração per capita de REEE do município de Uberlândia para o ano de 2021.

A geração per capita de REEE em Uberlândia para o ano de 2021 foi de 5,096 (cinco quilos e noventa e seis gramas) quilogramas de REEE por habitante. Este valor é 50% do valor calculado, segundo FORTI et al.(2020), para a média da geração per capita brasileira para 2019, isto se dá pois o modelo utilizado para 2019 considera os produtos em estoque no mercado e seu tempo de vida útil e não o poder de compra.

Utilizando a Equação 4, para o ano de 2021 o valor total de REEE estimado para a cidade de Uberlândia é de aproximadamente: 3.600.474,933 kg. Essa informação alerta para a importância de um fortalecimento das legislações e a necessidade de fiscalização, para que o consumidor e o produtor possam contribuir para a destinação correta dessa quantidade.

Em Uberlândia este tipo de resíduo quando não descartado de forma adequada, acaba por ser misturar com o resíduo domiciliar sem dar por razão do valor agregado que um volume desta dimensão possa chegar. A mobilização para obtenção de pontos de coleta se faz necessário para aliviar a carga que o meio ambiente absorve advinda dos REEE até que sejam elaboradas e/ou fortalecidas políticas públicas de modo a dividir as devidas responsabilidades entre os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes.

6.2. Quantidade de metais preciosos gerados por esses resíduos

Além de plásticos, borrachas, vidros e madeira, uma parte relevante nos REEE são os metais e através da Equação 5 aplicada ao Quadro 6 tem-se a quantidade, em toneladas, dos metais presentes nos REEE gerados em Uberlândia.

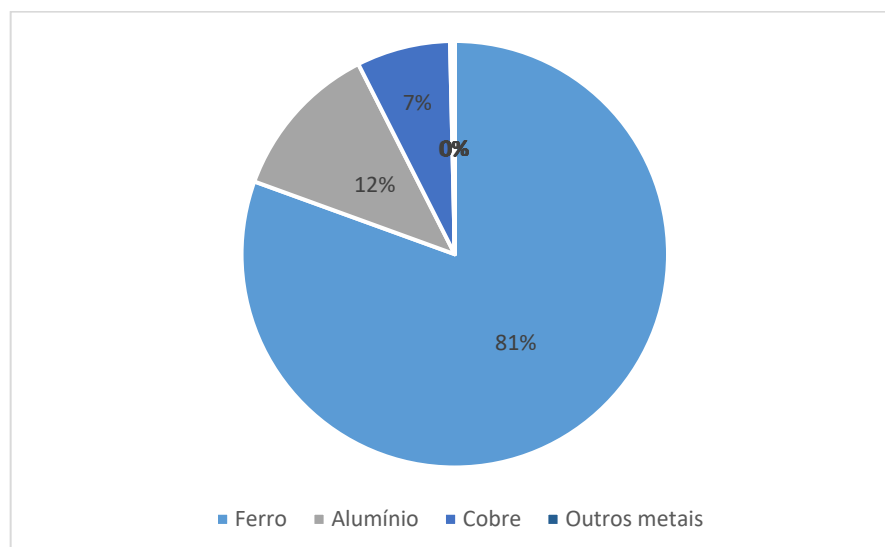
Quadro 8 – Estimativa da quantidade em toneladas de metais recuperáveis no REEE gerado em Uberlândia

Elemento	Toneladas	Elemento	Toneladas
Prata	0,080607433	Índio	0,013433372
Alumínio	204,6090784	Írídio	6,8409E-05
Ouro	0,013433372	Ósmio	0,000673289
Bismuto	0,006718486	Paládio	0,006718486
Cobalto	0,873248389	Platina	0,000133218
Cobre	121,4488549	Ródio	0,000673289
Ferro	1374,763439	Rutênio	2,16028E-05
Germânio	0,000673289	Antimônio	5,105149412

Fonte: O autor

Os metais apresentados no quadro acima correspondem a, aproximadamente, 47,4 % da massa total estimada pela geração de REEE, onde estes metais se misturam com outros elementos presentes no resíduo. O Ferro, o Alumínio e o Cobre conferem a grande maioria da massa total, restando menos de 1% para os outros metais calculados como configurado no gráfico a seguir.

Gráfico 1 – Percentual de cada metal no total estimado



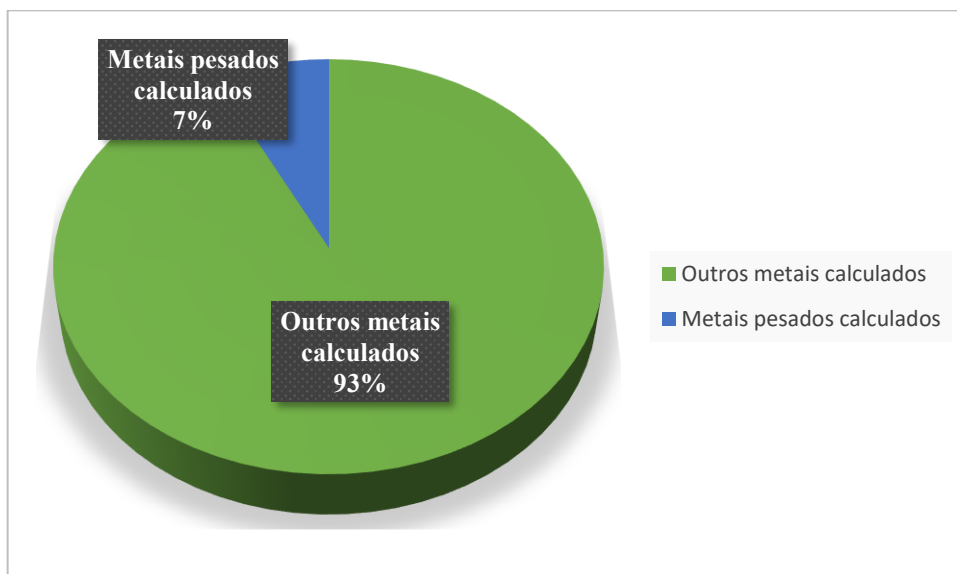
Fonte: O autor

Alguns desses metais podem poluir o solo e água impactando a fauna e a flora. Visto isso, é importante que se tenha um planejamento do poder público para esta questão, dado que esses metais pesados podem se tornar um problema para a saúde pública.

No Brasil não há empresas com tecnologia para extração e separação desses metais fazendo com que os resíduos sejam triturados e vendidos por um preço muito baixo para países capazes de reciclar os metais. Essa dinâmica faz com que os recursos fiquem disponíveis para outros países não contribuindo para economia circular local.

O gráfico 2 a seguir ilustra a parcela que esses metais pesados correspondem dos metais calculados no Quadro 8.

Gráfico 2 – Quantidade de metais pesados calculados



Fonte: o autor

6.3. Estimativa do valor monetário a partir dos REEE

Os REEEs apresentam um valor agregado alto comparado aos resíduos tradicionais como o plástico e o papel, isto leva com que catadores sem treinamento manuseiem e extraiam esses metais de forma artesanal e insalubre. Esse manejo gera desperdício contribuindo para a desigualdade e conseqüentemente para a qualidade de vida da sociedade.

O Quadro 9 apresenta os valores calculados para cada elemento utilizando a Equação 6 aplicada ao Quadro 7, resultando nos valores, em reais, que cada metal presente no REEE confere.

Quadro 9 - Estimativa do valor agregado aos metais advindos do REEE em Uberlândia

Elemento	Valor, em reais	Elemento	Valor, em reais
Prata	206.898,58	Índio	6.074,20
Alumínio	2.166.023,06	Írídio	1.819,57
Ouro	3.387.616,91	Ósmio	38.682,12
Bismuto	464,62	Paládio	1.262.342,56
Cobalto	370.201,03	Platina	25.157,93
Cobre	3.916.466,87	Ródio	114.613,69
Ferro	8.805.206,81	Rutênio	1.149,20
Germânio	143,27	Antimônio	230.134,65

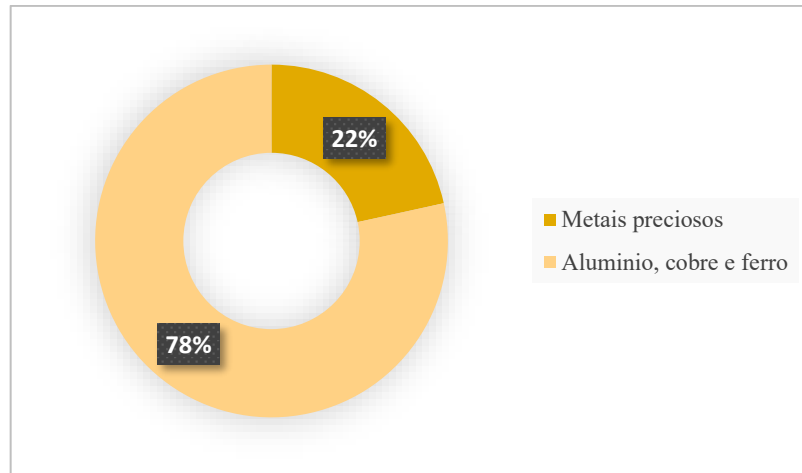
Fonte: O autor

O valor total dos metais contidos nos REEEs de Uberlândia para o ano de 2021 foi de, aproximadamente, 20,6 milhões de reais e os metais preciosos, apesar de conferirem pouca quantidade de massa equivalem a 5,6 milhões de reais, como apresentado no gráfico 3.

Esse valor pode contribuir na qualidade de vida dos catadores e dos residentes da cidade, o investimento do município é fundamental para um melhor aproveitamento do resíduo e funcionamento dos interessados preocupando-se com a saúde pública, o meio ambiente e a economia local.

Para um investimento efetivo do município, em relação ao REEE, deve-se atentar aos seguintes pontos: treinamento dos catadores, conscientização da população sobre o descarte do REEE, incentivo a empreendimentos que possam extrair esses metais e criação de políticas públicas para que as lojas de vendas de equipamentos eletroeletrônicos melhorem a relação quanto a logística com os fabricantes.

Gráfico 3 – Percentual do valor agregado aos metais preciosos do REEE



Fonte: O autor

A mineração urbana explora esses valores para fins financeiros e se beneficia ambientalmente em virtude da (re)disponibilização desses metais para a produção, gerando assim um alívio quanto a necessidade da mineração convencional.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho utilizando da Fórmula de KUSH e HILLS identificou que em 2021 o município de Uberlândia gerou 3.600.474,933 kg em resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. A política de logística reversa que prevê o retorno desses resíduos não vem sendo efetiva na atuação gerando desperdícios e colocando em risco o meio ambiente e, conseqüentemente, a saúde humana.

Desses REEEs gerados aproximadamente 1,71 milhão de quilogramas são metais que juntos têm um valor agregado equivalente a 20,6 milhões de reais, metais esses que não são reinseridos na linha de produção pela via da logística reversa e acabam por serem vendidos a preço inferior para outros países que têm tecnologia para a separação dos mesmos.

Visto que a cidade não possui tecnologia para o reaproveitamento desses metais, desperdiçando uma quantidade significativa de recursos financeiros e naturais é necessária a aplicação de políticas tecnológicas e educacionais a respeito dos resíduos provenientes de equipamentos eletroeletrônicos.

Contudo o valor agregado aos REEEs tende a alertar a população quanto ao desperdício e aos riscos ao meio ambiente, ao setor público quanto as necessidades de políticas mais efetivas e ao setor privado quanto as oportunidades de novos empreendimentos.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, L.; ESPINOSA, D. C. R. e SOARES, J. A. **Logística Reversa e Reciclagem de Eletrônicos – Visão da Sustentabilidade**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) - Universidade Estadual de Minas Gerais (UEMG) e Rede Temática em Engenharia de Materiais (REDEMAT), Belo Horizonte.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a política nacional de resíduos sólidos. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 3, 3 ago. 2010. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/7190459/pg-3-secao-1-diario-oficial-da-uniao-dou-de-03-08-2010>. Acesso em: 21 ago. 2021.

BRASIL. Plano Nacional de Mineração 2030 – Geologia, Mineração e Transformação Mineral Catalogação (PNM – 2030), **Ministério de Minas e Energia (MME) - Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM)**, Brasília, DF, 61-129 p., 2010.

CAETANO, M. O. et al. Análises de risco na operação de usinas de reciclagem de resíduos eletroeletrônicos (REEE). **Gestão & Produção**, São Carlos. 2019, v. 26, n. 2, e3018, 2019, DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-530X3018-19>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/LqCgxJyWTZxwtfQhw9wBDKS/?lang=pt#>. Acesso em: 16 ago. 2021.

COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2017/699 of 18 April 2017. Common methodology for the calculation of the weight of electrical and electronic equipment (EEE) placed on the market of each Member State and a common methodology for the calculation of the quantity of waste electrical and electronic equipment (WEEE) generated by weight in each Member State. **Official Journal of the European Union**, L. 103/17, p. 17-22. Disponível em: http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2017/699/oj Acesso em: 01 set. 2021.

DAVENPORT, W. G.; KING, M.; SCHLESINGER, M.; BISWAS, A. K. **Extrative metallurgy of cooper**. 4. ed. Pergamon, 2002.

DELGADO, G. C. ¿Por qué es importante la ecología política? Mexico, **Nueva Sociedad**, n. 244, mar./ abril 2013.

DEMAJOROVIC, J.; AUGUSTO, E. E. F.; SOUZA, M. T. S. D. Reverse logistics of e-waste in developing countries: challenges and prospects for the brazilian model. **Ambiente & Sociedade**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 117–136, 2016.

FERNANDEZ, J. A. **Relatório de Pesquisa: Diagnóstico dos Resíduos Sólidos de Logística Reversa Obrigatória**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília: 2012. Disponível em:

http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120807_relatorio_residuos_solidos_reversa.pdf. Acesso em: 19 set. 2021.

FORTI, V., et. al. **The Global E-waste Monitor – 2020**: Quantities, flows and the circular economy potential, Bonn/Geneva/Vienna: United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), 2020. Disponível em: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Pages/Spotlight/Global-Ewaste-Monitor-2020.aspx>. Acesso em: 16 ago. 2021.

FRANCO, R. G. F. **Protocolo de referência para gestão de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos domésticos para o município de Belo Horizonte** Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUDB-8AVN33>. Acesso em: 01 set. 2021.

GOUVEIA, N.; BUZZO, M. L.; GROSSI, M. G. L.; SOUZA, G. F.; MUTO, E. Y. Exposição ocupacional ao mercúrio em cooperativas de triagem de materiais recicláveis da região metropolitana de São Paulo, SP, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 1517–1526, 2019. DOI: 10.1590/1413-81232018244.01332017 . Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-81232019000401517&tlng=pt . Acesso em: 01 set. 2021.

GRAEDEL, T. E. et al. On the materials basis of modern society. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 112, n. 20, p. 6295–6300, 2015. DOI: 10.1073/pnas.1312752110. Disponível em: <http://www.pnas.org/lookup/doi/10.1073/pnas.1312752110> . Acesso em: 16 set. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (Brasil). Panorama Municipal. 2020. Portal. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/uberlandia/panorama> . Acesso em: 22 dez. 2021.

KEMERICH, P. D. C.; MENDES, S.A.; VORPAGEL, T.H.; PIOVESAN, M. Impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada de lixo eletrônico no solo. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Brasília, DF, v.10, n. 2, 2013. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=900>. Acesso em: 01 set. 2021.

LEITE, P. R. **Logística Reversa - Meio ambiente e Competitividade**. São Paulo: Prentice Hall, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC141545V1922016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/hsym9V35CCXBNfn4sbNmctD/?lang=en#>. Acesso em: 21 ago. 2021.

LEITE, P. R.; LAVEZ, N. Fatores da logística reversa que influem no reaproveitamento do “lixo eletrônico” – um estudo no setor de informática. In: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 12., 2009, São Paulo. **Anais** :SIMPOI, 2009.

LI, J. et al. Printed circuit board recycling: a state-of-the-art survey. **IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 33–42, 2004. DOI: 10.1109/TEPM.2004.830501

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. In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28. Rio de Janeiro, **Anais**, 2008.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, [s. l.], v. 24, n. 68, p. 209–220, 2010. DOI: 10.1590/S0103-40142010000100016 . Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142010000100016&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 16 set. 2021

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Brasil). MMA. Brasília, DF, 2019. Portal. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/ministerio-do-meio-ambiente-celebra-acordo-setorial-de-eletronicos>. Acesso em: 30 ago. 2021.

NASCIMENTO, A.N.; OLIVEIRA, G. A. G. Aspectos Tecnológicos e Ambientais: O desafio do lixo eletrônico. **Revista Cerrados**, Montes Claros, MG, v. 8, n. 1, p. 239-259, ago./dez. 2010.

NASCIMENTO, F. B. et al. Logística reversa dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos de pós-consumo na cidade de Teresina. **Sistemas & Gestão**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 519–531, 2018. DOI: 10.20985/1980-5160.2018.v13n4.1443. Disponível em: <https://www.revistasg.uff.br/sg/article/view/1443/pdf>. Acesso em: 21 ago. 2021.

NICOLAI, F. N. P. **Mineração urbana: avaliação da economicidade da recuperação de componentes ricos em Au a partir de resíduo eletrônico (e-waste)**. 2016. 242 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/7251>. Acesso em: 16 set. 2021.

PACE - PLATAFORM FOR ACCELERATING THE CIRCULAR ECONOMY. A new circular vision for electronics. Time for a global reboot, Coligny/Geneva, 2019. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/a-new-circular-vision-for-electronics-time-for-a-global-reboot>. Acesso em: 10 mai. 2019.

PESSANHA, L. P. M.; MORALES, G. Consumer behavior in the disposal of Information Technology Equipment: characterization of the household flow. **Gestão & Produção**, v. 27, n. 3, e4313, 2020, DOI: <https://doi.org/10.1590/0104-530X4313-20>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/zMkP7ZjM3npXB3R8F3P3hJP/?lang=en#>. Acesso em: 16 ago. 2021.

PESSANHA, L. P. M.; MORALES, G. Modelagem da geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos urbanos: caracterização do fluxo domiciliar no município de Campos-RJ. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 6, 2017, São Paulo, Brasil. **Workshop**. São Paulo: [s.n.], 2017. p.1-10.

RENGIFO, Y.P.; CRUZ, L.C.; BETANCOURT, C.M. Residuos electrónicos: análisis de las implicaciones socioambientales y alternativas frente al metabolismo urbano. **Ciencia, docencia y tecnología.**, Concepción del Uruguay, n. 56, p. 242-252, jun. 2018. Disponível em: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-17162018000100011&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 17 ago. 2021.

RIBEIRO, E. V.; JUNIOR, A. P. M.; HORN, A. H.; TRINDADE, W.M. Metais pesados e qualidade da água do rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora - mg: índice de contaminação. **Revista Geonomos**, v. 20, n.1, p. 49-63, 2012. DOI: <https://doi.org/10.18285/geonomos.v20i1.27>. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/issue/view/598>. Acesso em: 01 set. 2021.

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

RIBEIRO, P. P. M. **Concentração de metais contidos em placas de circuito impresso de computadores descartados**. Projeto (Graduação em Engenharia Metalúrgica) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11422/9717>. Acesso em: 15 set. 2021

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

RODRIGUES, A. C.; GUNTHER, W. M. R.; BOSCOV, M. E. G. Estimativa da geração de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos de origem domiciliar: proposição de método e aplicação ao município de São Paulo, São Paulo, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 437-447, jul./set. 2015.

ROSENSTOCK, L; CULLEN, M. R. **Textbook of Clinical Occupational and Environmental Medicine**. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1994

SANTOS, F. H. S.; SOUZA, C. E. G. Resíduos de origem eletrônica. **Série de Tecnologia Ambiental**, 57. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/313/1/sta-57.pdf> . Acesso em: 01 set. 2021.

SANTOS, K. L. Ouro para fora, lixo para dentro: as inserções de Gana na Divisão Internacional do Trabalho contemporânea. **GEOUSP: espaço e tempo**, v. 22, p.607-622. 2018.

SANTOS, K. L. D. waste electrical and electronic equipment in macrometrópole paulista: legal framework and technology at the service of reverse logistics. **Ambiente & Sociedade**, [s. l.], v. 23, e01211, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190121r1vu2020L2DE>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/cz8zYkJGzHzHSJ48stVhM9L/?lang=pt#>. Acesso em: 21 ago. 2021.

SCURO, L.; BERCOVICH, N. **El nuevo paradigma productivo y tecnológico: la necesidad de políticas para la autonomía económica de las mujeres**. Santiago de Chile:CEPAL,2014.

SILVA, A. P. D.; CASTRO, J. D. B.O descarte para o e-lixo e políticas públicas: um diagnóstico para o município de Anápolis. **Revista de Economia**, Anápolis-GO, v. 12, n.1, p.109-128 Jan/Jun. 2016. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/economia/article/view/4838>. Acesso em: 01 set. 2021.

TRIGUEIRO, André. **Mundo sustentável: abrindo espaço para um planeta em transformação**. 2 ed. São Paulo: Globo, 2005.

VIEIRA, S. de A. Césio-137, um drama recontado. **Estudos Avançados**, [s. l.], v. 27, n. 77, p. 217–236, 2013. DOI: 10.1590/S0103-40142013000100017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142013000100017&lng=pt&tlng=pt . Acesso em: 02 ago. 2021.

WIDMER, R. et al. Global perspectives on e-waste. **Environmental Impact Assessment Review**, New York, v. 25, p. 436 458, 2005.

WOLFF, E.; CONCEIÇÃO, S. V. Resíduos sólidos: a reciclagem de pilhas e baterias no Brasil. In: XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP,31. **Anais Belo Horizonte**, 2011.

XAVIER, L. H. Mineração urbana e a gestão de resíduos eletroeletrônicos: estado da arte do arcabouço legal e normativo. In: XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia, 28, Belo Horizonte. , **Anais**, 2019.

XAVIER, L. H.; CARVALHO, T. C. M. B. **Gestão de resíduos eletroeletrônicos: uma abordagem prática para a sustentabilidade**. Rio de Janeiro, 2014.

YLÄ-MELLA, J.; KEISKI, R. L.; PONGRÁCZ, E. Electronic waste recovery in Finland: consumers' perceptions towards recycling and re-use of mobile phones.. **Waste Management**, Finland, v. 45, p. 374-384, fev. 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X15001348>. Acesso em 17 ago. 2021.

ZHENG, J.; CHEN, K. H.; YAN, X.; CHEN, S. J.; HU, G. C.; PENG, X. W.; YUAN, J. G.; MAI, B. X.; YANG, Z. Y. Heavy metals in food, house dust, and water from an e-waste recycling area in South China and the potential risk to human health. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s.l.].v. 96,p. 205-212, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.06.017> PMID:23849468. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651313002595?via%3Dihub>. Acesso em 17 ago. 2021.