



Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental

JOSÉ FRANCISCO DE OLIVEIRA NETO

**CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELETROELETRÔNICOS PRODUZIDOS EM BAIRROS DE CLASSE MÉDIA-ALTA
DE CARUARU/PE**

Caruaru
2019

JOSÉ FRANCISCO DE OLIVEIRA NETO

**CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELETROELETRÔNICOS PRODUZIDOS EM BAIRROS DE CLASSE MÉDIA-ALTA
DE CARUARU/PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Simone Machado Santos

Caruaru

2019

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

- O48c Oliveira Neto, José Francisco de.
Caracterização dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos produzidos em bairros de classe média-alta de Caruaru/PE. / José Francisco de Oliveira Neto. – 2019. 95 f.: il.; 30 cm.
- Orientadora: Simone Machado Santos.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2019.
Inclui Referências.
1. Administração de material – Caruaru (PE). 2. Lixo eletrônico – Reaproveitamento – Caruaru (PE). 3. Aparelhos e materiais eletrônicos – Caruaru (PE). 4. Logística. 5. Resíduos perigosos – Caruaru (PE). 5. Classe média – Caruaru (PE). I. Santos, Simone Machado (Orientadora). II. Título.
- CDD 620 (23. ed.) UFPE (CAA 2019-0127)

JOSÉ FRANCISCO DE OLIVEIRA NETO

**CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS
ELETROELETRÔNICOS PRODUZIDOS EM BAIRROS DE CLASSE MÉDIA-ALTA
DE CARUARU/PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Aprovada em: 10/07/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Simone Machado Santos (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Máisa Mendonça Silva (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr. Saulo De Tarso Marques Bezerra (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus por me dar a oportunidade de todos os dias levantar e ir à luta, por ser a luz na minha vida e não me deixar abaixar a cabeça diante das dificuldades. Agradeço também a São Miguel Arcanjo por me proteger das pessoas das pessoas negativas que passaram, e ainda vão passar, pela minha vida, mas, acima de tudo, por me mostrar que é do bem e quer me ver bem.

Agradeço a minha mãe, Guga, por ser o maior exemplo de pessoa que tenho na vida e que fez, e faz, de tudo para que eu alcance meus objetivos. A minha família, por todo suporte nos momentos difíceis e pelos risos nos momentos de descontração. Em especial aos meus primos: Amanda, Júlia, Juarlan, Jhully, Valentina. Obrigado por me fazer sentir amado.

Também quero agradecer aos meus amigos, pelo companheirismo e suporte no cotidiano. Luttemberg, Joelithon, Armando e todos os que já foram citados ou ainda serão. Obrigado pela força que vocês me dão. As duas pessoas que não mediram esforços para me ajudar na aplicação dos questionários: Thais e Itamirys. Sem vocês, eu ainda estaria batendo de prédio em prédio e sendo ignorado pelas pessoas. Muito obrigado mesmo. Um dia vamos rir de tudo isso assistindo um show da Beyoncé. Aos amigos que fiz no PPGECAm e pretendo levar para a vida: Jeisiane, Adson, Alanna. Aos secretários do PPGECAm, Marcelo e Euclécia, por sempre estarem disponíveis para ajudar com informações e documentações. Obrigado a todos pela companhia.

Agradeço a professora Simone por acreditar na minha capacidade e contribuir para meu amadurecimento no âmbito acadêmico. Ao meu co-orientador, Rodrigo, por toda contribuição e ensinamento. Dedico também a todos os professores que puderam me passar um pouco do seu conhecimento e aprendizado, tanto em sala de aula quanto fora dela. As pessoas que formam o LEA, o laboratório mais acolhedor que tive a oportunidade de fazer parte, e aos amigos do grupo GAMA, meus mais sinceros agradecimentos.

Por fim, agradeço a oportunidade de poder desfrutar de um ensino superior público, gratuito e de qualidade. Não sei quantos mais terão a mesma oportunidade que estou eu, por isso devemos valorizar o que temos no presente e lutar, através da educação, por um futuro melhor para todos.

RESUMO

A acelerada produção e substituição de novos equipamentos eletroeletrônicos tem provocado um aumento proporcional na geração de lixo eletrônico. Os países em desenvolvimento já sofrem as consequências sociais e ambientais provocadas por esse aumento, o que compõe os outros desafios associados à já escassa gestão de resíduos sólidos nessas regiões. Além disso, a composição perigosa de alguns resíduos eletroeletrônicos amplia os problemas relacionados ao gerenciamento desses materiais. Muitos países usam dispositivos legais para o gerenciamento de lixo eletrônico, geralmente com base na Responsabilidade Estendida do Produtor (EPR). No entanto, a maioria dos países em desenvolvimento, como o Brasil, não há dados confiáveis sobre a geração de WEEE que possa auxiliar no seu gerenciamento. Diante disso, este estudo teve como objetivo realizar uma caracterização dos REEE produzidos em uma área de classe média-alta no município de Caruaru-PE, levando em consideração aspectos relacionados aos hábitos de consumo e manejo de resíduos. Inicialmente, foi realizada uma revisão para apresentar uma breve visão geral do gerenciamento de lixo eletrônico no Brasil, incluindo aspectos técnicos, estudos científicos e os desafios futuros. Com a Política Nacional de Resíduos Sólidos já em vigor, estudos técnicos e científicos endossam medidas que vão desde a incorporação do setor de reciclagem informal ao setor de gestão de lixo eletrônico, até o incentivo à expansão da indústria de reciclagem. Todas essas ações, combinadas com um compromisso intensificado dos fabricantes de equipamentos eletrônicos para reverter a logística, podem melhorar a gestão de lixo eletrônico no Brasil. Durante a pesquisa *in situ*, um questionário foi aplicado a uma amostra de 380 domicílios. Os resultados mostram uma geração per capita média de 4,36 kg/hab/ano de REEE. Foram confirmadas a existência de correlação da renda familiar com estoque de EEE e geração de REEE, assim como, do número de pessoas por domicílio com o estoque de EEE e geração de REEE. Outro resultado importante é que as variáveis socioeconômicas (nível de escolaridade e renda) estão relacionadas a variáveis de comportamento de reciclagem (métodos de descarte dos REEE e disposição de comprar produtos eletroeletrônicos reaproveitados).

Palavras – chave: Gerenciamento de REEE. Geração de lixo eletrônico. Método de aproximação de Robinson. Área de classe média-alta.

ABSTRACT

The accelerated production and replacement of new electrical and electronic equipment demonstrates a tendency for the proportional increase in the generation of e-waste. Developing countries experience a similar social and environmental consequences of this trend, which compounds the other challenges associated with the-already-poor solid waste management in these regions. Moreover, the dangerous composition of some e-waste amplifies the problems related to managing these materials. Many countries use legal devices for the management of e-waste, usually based on Extended Producer Responsibility (EPR). However, in most developing countries, such as Brazil, there are no reliable data about WEEE generation that can help its management. In view of this, this study aimed to obtain a description of the e-waste's flow in a middle-upper class area, in the city of Caruaru-PE, taking into consideration aspects related to consumption habits and handling of waste. At first, a mini-review was conducted to presents a brief overview of e-waste management in Brazil, including technical aspects, scientific studies and the challenges ahead. With the Brazilian National Policy of Solid Waste already in place, technical and scientific studies endorse measures that range from incorporating the informal recycling sector into the e-waste management sector to encouraging the expansion of the recycling industry. All such actions, combined with an intensified commitment of electronic equipment manufacturers to reverse logistics, can improve e-waste management in Brazil. During the in situ research, a questionnaire was applied to a sample of 380 households. The results showed that an average 4.36 kg/per capita of WEEE. Relationships between income and stock of EEE and generation of WEEE, number of residents and stock of EEE and generation of WEEE were confirmed. Another important result is that socioeconomic variables (level education and income) are related to recycling behavior variables (methods of WEEE disposal and willingness to buy second-hand e-products).

Keywords: E-waste management. WEEE generation. Robinson's approach method. Middle-upper class area.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Linha do tempo do lançamento de alguns equipamentos eletroeletrônicos.....	23
Figura 2 - Rede dos principais autores fornecida pelo CiteSpace.....	59
Figura 3 - Rede das principais referências fornecida pelo CiteSpace.....	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição dos participantes por bairro (a), por gênero (b), por faixa etária (c) e por grau de instrução (d).....	62
Gráfico 2 - Distribuição dos domicílios por quantidade de pessoas por domicílio (a) e renda familiar (b).....	63
Gráfico 3 - Conhecimento prévio sobre os REEE.....	64
Gráfico 4 - Método de destinação adotado pelas famílias.....	64
Gráfico 5 - Estoque de EEE na área de estudo.....	68
Gráfico 6 - Caracterização dos EEE por domicílio: em uso (a) e fora de uso (b).....	68
Gráfico 7 - Quantidade de EEE por faixa de renda.....	70

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Bairros Maurício de Nassau e Universitário (Caruaru – PE).....	38
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Categorias de EEE segundo a União Europeia.....	20
Quadro 2 -	Classificação dos EEE segundo a ABDI.....	21
Quadro 3 -	Comparação entre o inventário dos métodos de estimativa da geração de REEE.....	28
Quadro 4 -	Substâncias tóxicas associadas aos REEE e suas consequências na saúde.....	32
Quadro 5 -	Fórmulas para o cálculo do tamanho de uma amostra.....	39
Quadro 6 -	Características gerais dos estudos sobre REEE.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Composição de 1 (uma) tonelada de sucata.....	29
Tabela 2 -	Frequência observada numa tabela de contingência – rxs.....	43
Tabela 3 -	Frequência esperada numa tabela de contingência - rxs.....	43
Tabela 4 -	Principais autores de acordo com a frequência de citações.....	60
Tabela 5 -	Principais referências de acordo com a frequência de citações...	60
Tabela 6 -	Principais autores de acordo com a centralidade.....	61
Tabela 7 -	Principais referências de acordo com a centralidade.....	61
Tabela 8 -	Motivos que influenciam as famílias a separar os REEE dos demais resíduos sólidos.....	65
Tabela 9 -	Fatores que incentivam as famílias participarem de um programa de coleta seletiva.....	65
Tabela 10 -	Motivo para aquisição (ou não) de um EEE usado ou remanufaturado.....	66
Tabela 11 -	Principais motivos do fim da vida útil dos EEE na área de estudo.....	69
Tabela 12 -	Estoque de EEE de acordo com a renda familiar.....	71
Tabela 13 -	Estoque de EEE de acordo com a número de pessoas nos domicílios.....	71
Tabela 14 -	Tempo de vida útil e peso médio dos EEE.....	72
Tabela 15 -	Potencial de geração de REEE na área de estudo.....	73
Tabela 16 -	Geração de REEE de acordo com a renda familiar.....	74
Tabela 17 -	Geração de REEE de acordo com a número de PPD.....	74
Tabela 18 -	Frequência observada entre escolaridade e conhecimento prévio sobre REEE.....	75
Tabela 19 -	Frequência observada entre escolaridade e método de descarte dos REEE adotado pelas famílias.....	75
Tabela 20 -	Frequência observada entre renda familiar e método de descarte dos REEE adotado pelas famílias.....	75
Tabela 21 -	Frequência observada entre renda familiar e intenção de aquisição de EEE reaproveitado.....	76
Tabela 22 -	Resultados de correlação do Teste Qui-Quadrado.....	76
Tabela 23 -	Resultados do teste de correlação de Spearman.....	77
Tabela 24 -	Resultados do teste de correlação de Spearman para os valores médios de geração e estoque.....	77

LISTA DE SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABINEE	Agência Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT	Agência Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
Ag	Prata
Al	Alumínio
As	Arsênio
Au	Ouro
BFR	<i>Brominated Flame Retardant</i> (Retardantes de Chamas à Base de Brometos)
Cd	Cádmio
CFC	<i>Chlorofluorocarbon</i> (Clorofluorcarbono)
Cr	Cromo
CRT	<i>Cathode Ray Tube</i> (Tubo de Raios Catódicos)
Cu	Cobre
EEE	Equipamento Eletroeletrônico
EU	<i>European Union</i> (União Europeia)
EUA	Estados Unidos da América
Fe	Ferro
Hg	Mercúrio
In	Índio
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> (Display de Cristal Líquido)
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Diodo Emissor de Luz)
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
Ni	Níquel
Pb	Chumbo
PBB	<i>Polybrominated Biphenyl</i> (Bifenila Polibromada)
PBDE	<i>Polybrominated Diphenyl Ether</i> (Difenil Éter Polibromado)
PCB	<i>Polychlorinated Biphenyl</i> (Bifenila Policlorada)
PCI	Placa de Circuito Impresso

PNRS	Política Nacional de Resíduos sólidos
Pt	Platina
PVC	<i>Polyvinyl Chloride</i> (Policloreto de Vinila)
REEE	Resíduos de Equipamento Eletroeletrônico
REP	Responsabilidade Estendida do Produtor
Sb	Antimônio
TBBPA	<i>Tetrabromobisphenol A</i> (Tetrabromobisfenol)
Tl	Tálio
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	19
2.1	Objetivo geral	19
2.2	Objetivos específicos	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1	Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos	20
3.2	Geração de REEE	22
3.3	Métodos para estimativa da geração de REEE	24
3.3.1	<i>Método do Consumo e Uso (Consumption and use method)</i>	25
3.3.2	<i>Método de Aproximação de Robinson (Robinson's approach)</i>	25
3.3.3	<i>Método do Intervalo de Tempo (Time step method)</i>	26
3.3.4	<i>Método do Atraso Simples (Simple delay method)</i>	26
3.4	Composição dos REEE	29
3.5	Impactos no meio ambiente e na saúde pública	30
3.5.1	<i>Impactos ambientais</i>	30
3.5.2	<i>Impactos na saúde</i>	31
3.5.3	<i>Exportação e reciclagem clandestina de REEE</i>	33
4	MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1	Revisão do estado da arte das pesquisas sobre REEE no Brasil	37
4.2	Área de estudo	37
4.3	Amostragem	38
4.4	Diagnósticos sobre os hábitos de consumo	39
4.5	Estimativa de geração dos REEE	40
4.6	Características dos resíduos produzidos e indicadores sociais	40
4.6.1	<i>Correlação de postos de Spearman</i>	41
4.6.2	<i>Teste de correlação Qui-Quadrado</i>	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1	Gestão de REEE: modelos e tendências	45
5.2	Gestão de REEE no Brasil	46
5.2.1	<i>Políticas e legislação</i>	46

5.2.2	<i>Estado da arte da pesquisa sobre o gerenciamento de REEE no Brasil</i>	48
5.2.3	<i>Análise de co-citação de documento pelo CiteSpace</i>	58
5.3	Caracterização dos REEE produzidos em região de classe média-alta	61
5.3.1	<i>Caracterização dos entrevistados</i>	61
5.3.2	<i>Estoque de equipamentos eletroeletrônicos nos domicílios</i>	67
5.3.3	<i>Potencial de geração de REEE</i>	71
5.4	Correlações entre resultados	74
6	CONCLUSÕES	78
	REFERÊNCIAS	80
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO	91
	ANEXO A - VALORES CRÍTICOS PARA O TESTE T DE STUDENT	94
	ANEXO B - VALORES CRÍTICOS PARA O TESTE QUI-QUADRADO	95

1 INTRODUÇÃO

Entre os diversos resíduos resultantes da atividade humana cotidiana, estão os Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE). Também conhecidos como *e-waste* (*electronic waste*), compreendem desde computador, notebook, impressora, celular e televisores, até equipamentos como máquina de lavar, micro-ondas, geladeira, fogão entre outros.

Com o desenvolvimento tecnológico das últimas décadas vieram as mudanças nos hábitos de consumo da população, sendo a sociedade contemporânea caracterizada pelo consumo desenfreado e a geração de resíduos em intervalos de tempo cada vez mais curtos, principalmente pela redução nos preços de venda e diminuição da vida útil dos equipamentos (FRANCO & LANGE, 2011). Robinson (2009) apontou que os principais fatores que contribuem para que os Equipamentos Eletroeletrônicos sejam descartados pelo consumidor sem a intenção de reutilização, são quebra e/ou fim da vida útil.

A composição química dos REEE varia em função da idade e do tipo de resíduo descartado. Entretanto, grande parte dos REEE são compostos por uma mistura de metais, particularmente cobre, alumínio e ferro, ligados, cobertos ou misturados a vários tipos de plásticos e cerâmicas (ROBINSON, 2009). Os metais apresentam-se em maior quantidade, chegando a representar 70% do total de REEE produzido. A presença de metais preciosos (ouro, prata, cobre, entre outros), alumínio, ferro e plásticos torna a reciclagem uma atividade interessante para muitos grupos sociais de países em desenvolvimento, como os catadores, os atravessadores e algumas indústrias. Por isso, uma prática crescente nesses países é a reciclagem clandestina de REEE, caracterizada pela mão de obra barata e ausência ou baixo controle legal da atividade, provocando assim, graves problemas de poluição ambiental e contaminação à saúde humana nas áreas circunvizinhas aos locais de reciclagem (AWASTHI *et al.*, 2016).

A disponibilidade de dados sobre as características dos REEE ainda é bastante limitada, sobretudo no Brasil. No entanto, sabe-se que o aumento da geração de REEE não vem acompanhado de um aumento do acompanhamento e fiscalização, especialmente nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída em 2010, obriga os fabricantes, importadores, distribuidores e revendedores de produtos eletroeletrônicos e seus

componentes a estruturar e implementar um sistema de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o descarte pelos consumidores, de forma independente do serviço de limpeza urbana e do manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2010). Entretanto, a ausência de uma legislação específica para os REEE na PNRS dificulta sua implementação no que diz respeito a coleta e reciclagem desses resíduos, e como consequência, a população faz o descarte com o lixo comum, inclusive junto aos recicláveis.

Para que este dispositivo legal tenha efeito, é necessário que se tenham estimativas mais realistas sobre a quantidade e tipologia dos REEE, para que se possa elaborar um modelo de gestão mais adequado ao manejo desses resíduos. Além do mais, fatores demográficos e socioeconômicos têm se mostrado importantes em estudos sobre a geração e manejo de REEE, como mostram pesquisas que correlacionaram o gerenciamento desses resíduos com a escolaridade (GUTIERRÉZ *et al.*, 2011; LI *et al.*, 2012), o poder aquisitivo e a idade (SONG *et al.*, 2012), entre outros.

No contexto nacional, o processo de urbanização das cidades de grande e médio porte tem provocado grandes questionamentos sobre a eficiência do gerenciamento dos resíduos sólidos gerados pela população. O município de Caruaru tem uma área de 920,6 km², com população estimada para 2018 de 356.872 habitantes (IBGE, 2010). O Atual cenário do município demonstra uma constante evolução econômica no município, principalmente em função da instalação de empresas de serviços, que trazem investimentos para a região e, conseqüentemente, promovem a geração de empregos. Em Caruaru, diariamente são coletadas 300 toneladas de resíduos sólidos, o que representa uma geração per capita de 0,84 kg/habitante/dia (CARUARU, 2017a).

A Lei nº 7.319/2017 institui o Programa “RECICLA CARUARU”, que tem como objetivo o desenvolvimento de atividades voltadas para a orientação e a prática da coleta seletiva de resíduos sólidos, dentre eles os resíduos eletrônicos e tecnológicos. Com relação aos REEE, alguns dos objetivos do programa são conscientização do consumidor de produtos eletrônicos e tecnológicos sobre os riscos ambientais e a saúde pública, em virtude do descarte inadequado, geração de benefícios sociais e econômicos a partir da reciclagem dos materiais reaproveitáveis, regularidade, continuidade, acondicionamento, armazenamento, transporte, tratamento e/ou

disposição final dos resíduos eletrônicos e tecnológicos comercializados e utilizados em Caruaru. Entretanto, para que essas ações funcionem, são necessárias informações estatisticamente consistentes, sobre o consumo e descarte, as quais devem ajudar no equacionamento dos problemas relacionados ao lixo eletrônico.

Diante desse contexto, essa pesquisa teve como foco realizar um levantamento quali-quantitativo de alguns tipos de REEE, além dos hábitos de consumo de EEE, em uma região de classe média-alta da cidade de Caruaru/PE.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

De modo geral, esta pesquisa teve a proposta de realizar uma caracterização dos REEE produzidos em uma região de classe média alta de Caruaru/PE.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar os principais modelos de gestão de REEE adotados, considerando a produção de estudos técnicos e científicos, com ênfase na situação do Brasil;
- Diagnosticar os hábitos de consumo e descarte de produtos eletroeletrônicos dos moradores da área estudada;
- Estimar, por meio do Método de Aproximação de Robinson, a geração de certos tipos de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, precisamente: computador de mesa, *notebook*, impressora, *tablet*, telefone celular, CRT, LCD/plasma e LED;
- Verificar as correlações existentes entre a quantidade de EEE e a geração de REEE com indicadores sociais das famílias da área estudada.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos

Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE), ou *e-waste* (*electronic waste*), correspondem a todos os Equipamentos Eletroeletrônicos (EEE) e suas partes que foram descartadas sem a intenção de reutilização (BALDÉ *et al.*, 2017). De acordo com Robinson (2009), os fatores que mais contribuem para esse descarte são quebra e/ou fim de vida útil (tempo contado a partir da aquisição do equipamento, enquanto ele mantém um bom desempenho das funções as quais foi projetado).

No plano internacional, a diretiva 2012/19/EU, formulada pelo Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, divide os equipamentos eletroeletrônicos em 10 categorias (UE, 2012), apresentadas no Quadro 1. A composição dos EEE que um dia se tornarão resíduos é um fator relevante por ser extremamente peculiar e individual para cada uma das categorias, além do mais, essa divisão está diretamente relacionada com os diferentes processos de reciclagem praticados no continente europeu.

Quadro 1 - Categorias de EEE segundo a União Europeia.

Categoria	EEE	Exemplos
1	Grandes Eletrodomésticos	Máquinas de lavar, secadoras, geladeiras, aparelhos de ar condicionado.
2	Pequenos Eletrodomésticos	Aspiradores, máquinas de café, ferros, torradeiras.
3	Equipamentos de Informática e de Telecomunicações	Computadores, <i>laptops</i> , celulares, telefones, fax, copiadoras, impressoras.
4	Equipamentos de Consumo e Painéis Fotovoltaicos	Televisão, aparelhos de VCR/DVD/CD, conjuntos de Wi-Fi, rádios, painéis fotovoltaicos.
5	Equipamentos de Iluminação	Lâmpadas fluorescentes (clássicas e compactas), lâmpadas de sódio.
6	Ferramentas Elétricas e Eletrônicas	Brocas, serras elétricas, máquinas de costura, cortadores.
7	Brinquedos e Equipamentos de Esporte e Lazer	Trens elétricos, máquinas de moeda, esteiras.
8	Aparelhos Médicos	Equipamentos de radioterapia, equipamentos de cardiologia.

9	Instrumentos de Monitorização e Controle	Detentores de fumo, reguladores de aquecimento, termostatos.
10	Distribuidores Automáticos	Distribuidores automáticos de bebidas quentes, distribuidores automáticos de dinheiro.

Fonte: UE (2012).

No plano nacional, de acordo com a ABDI (2013), os EEE compreendem todos os produtos que, de alguma forma, o funcionamento depende do uso de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos. Esses podem ser divididos em quatro categorias amplas, como apresentado no Quadro 2:

Quadro 2 - Classificação dos EEE segundo a ABDI.

Categoria	EEE	Características
Linha Branca	Refrigeradores e congeladores, fogões, lavadoras de louça e roupa, secadoras, condicionadores de ar.	Vida útil longa (~ 10 - 15 anos); Equipamentos de grande porte (~30Kg – 70Kg); Menor diversidade de componentes (composto principalmente de metais).
Linha Marrom	Monitores e televisores de tubo, plasma, LCD e LED, aparelhos de DVD e VHS, equipamentos de áudio, filmadoras.	Vida útil média (~ 5 – 13 anos); Equipamentos de médio porte (~1Kg – 35Kg); Composto principalmente de plástico e vidro.
Linha Azul	Batedeiras, liquidificadores, ferros elétricos, furadeiras, secadores de cabelo, espremedores de frutas, aspiradores de pó, cafeteiras.	Vida útil média longa (~10 – 12 anos); Equipamentos de pequeno porte (~0,5Kg – 5Kg); Compostos principalmente de plástico.
Linha Verde	Computadores <i>desktop</i> e <i>laptops</i> , acessórios de informática, <i>tablets</i> e telefones celulares.	Vida útil curta (~2 – 5 anos); Equipamentos de pequeno porte (~0,09Kg – 30Kg); Grande diversidade de componentes (composto principalmente de metais e plásticos).

Fonte: ABDI (2013).

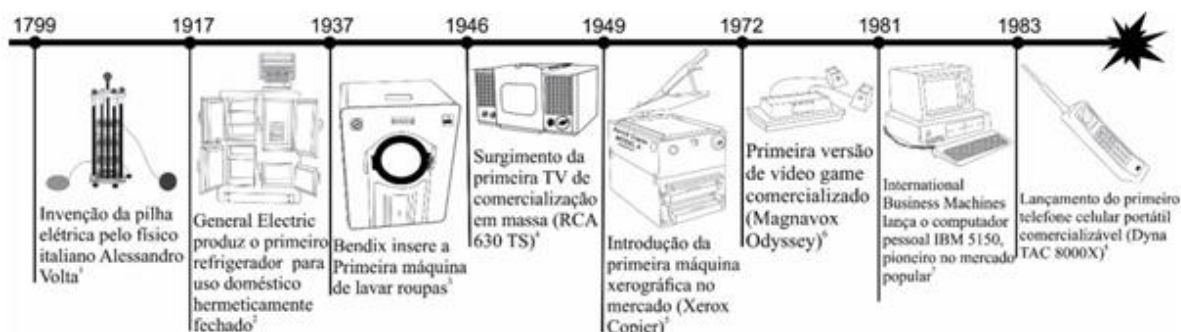
3.2 Geração de REEE

O desenvolvimento tecnológico das últimas décadas possibilitou o surgimento de equipamentos mais novos e mais modernos, disponibilizados diariamente para atender as mais diversas necessidades e facilitar a vida da população. Entretanto, com as novas tecnologias vieram as mudanças nos hábitos de consumo, onde a aquisição de bens hoje não se dá apenas pelas necessidades humanas, mas também para satisfazer anseios pessoais, tais como se encaixar em um determinado grupo social, vontade de adquirir uma nova tecnologia ou simplesmente pelo prazer de compra.

Oferta e demanda são as duas forças que garantem o funcionamento de um mercado, determinados pela quantidade de produtos oferecidos e seus preços. Até o final da década de 1960, a oferta de produtos eletroeletrônicos era limitada pelo desenvolvimento tecnológico. Com a revolução digital, iniciada na década de 70, e a adoção de hábitos consumistas, por parte da sociedade, foram geradas significativas quantidades de REEE (CHUNG *et al.*, 2011), principalmente nos países desenvolvidos. Se há pouco mais de duas décadas as pessoas se comunicavam por cartas, hoje todos têm a sua disposição inúmeros equipamentos com a função “*smart*” e tantas outras inovações que permitem agilizar não só a comunicação, mas também suprir as necessidades nos mais diversos setores da atividade humana.

O surgimento dos eletroeletrônicos que revolucionaram o modo de vida moderno, teve em início em 1799, quando o físico italiano Alessandro Volta inventou a primeira pilha elétrica, possibilitando a utilização da eletricidade nos experimentos químicos (FREITAS *et al.*, 2012). Este marco na história dos equipamentos elétricos abriu caminho para o surgimento de inúmeros dispositivos presente no cotidiano da sociedade moderna, tais como: televisão, rádio, telefone, entre outros (Figura 1).

Figura 1 - Linha do tempo do lançamento de alguns equipamentos eletroeletrônicos.



Fonte: OLIVEIRA *et al.* (2017).

Consumo e descarte são duas ações constantemente presentes nas atividades diárias da população. Sendo uma ação consequência da outra, a sociedade contemporânea caracteriza-se pelo consumismo desenfreado e a geração de resíduos em intervalos de tempo cada vez menores. Os REEE estão se tornando os resíduos de crescimento mais rápido no mundo (ROBINSON, 2009), inclusive nos países em desenvolvimento. Para (FRANCO & LANGE, 2011), alguns fatores que contribuem para esse aumento são: redução nos preços de venda, a crescente inovação tecnológica e a diminuição da vida útil dos equipamentos.

Os REEE são complexos devido à presença de substâncias tóxicas na sua composição associado ao manejo inadequado. Conhecer o perfil de geração e descarte dos REEE é fundamental para o planejamento e implantação de instrumentos legais que minimizem os prejuízos ambientais e socioeconômicos provocados pelo descarte, tratamento e disposição final inadequada.

Rodrigues (2015) apontou dois fluxos distintos como fontes da geração de REEE, que são: o fluxo institucional, que compreende os REEE provenientes das instituições públicas e privadas e o fluxo domiciliar, que corresponde aos REEE gerados nos domicílios. O fator que difere os fluxos e torna o domiciliar o mais complexo dos dois é o fato de não existir um tempo pré-determinado para que os REEE domiciliares sejam descartados, podendo ser armazenados antes de ser destinado pelo usuário. Já no fluxo institucional, os REEE são compostos principalmente por computadores e acessórios de informática, que seguem um tempo de substituição relativamente regular, caracterizando a obsolescência programada.

Segundo Santos (2016), entende-se por obsolescência programada como uma estratégia da iniciativa privada por meio da qual os produtos colocados à venda no

mercado já se encontram com uma vida útil previamente pré-estabelecida, obrigando o consumidor a adquirir um novo antes do tempo esperado. Entre os EEE, os equipamentos de informática e os telefones celulares são os que apresentam maior rapidez de substituição, com vida útil média de 3 (BETTS, 2008) e 2 anos (COBBING, 2008), respectivamente.

Em 2016, a geração mundial de REEE foi de 44,7 milhões de toneladas, ou 6,1 kg.hab⁻¹. A estimativa é que em 2021 esse montante aumente aproximadamente 17%, chegando a geração de 52,2 milhões de toneladas, ou 6,8 kg.hab⁻¹. Na América Latina, o Brasil se destaca com a produção de 1,5 milhões de toneladas de REEE, o que representa 7,4 kg.hab⁻¹ (BALDÉ *et al.*, 2017).

Estimar o potencial de geração dos REEE é um importante passo para se conhecer melhor a realidade e planejar as ações para se fazer o manejo adequado desses resíduos. Por isso, tem aumentado a criação de metodologias capazes de estimar o potencial de geração desse tipo de resíduo, onde grande parte baseia-se na vida útil dos produtos, no tamanho do mercado consumidor e, principalmente, por meio da compreensão do comportamento do consumidor (CABRAL NETO, 2016).

3.3 Métodos para estimativa da geração de REEE

Estudos têm sido realizados em diversos países para diagnosticar a geração de REEE, utilizando métodos geralmente baseados em estimativas de venda e estoque, tempo de vida útil, peso médio dos produtos além de condições do mercado (saturado ou dinâmico). Entender a diferença entre mercado saturado e dinâmico é de extrema importância para escolha do método adequado a ser escolhido. Araújo *et al.* (2012) cita a diferença entre esses dois mercados segundo:

Mercado Saturado: aquele cujo seu crescimento acompanha a taxa de crescimento da população. As vendas são basicamente para reposição de produtos que atingiram o fim da vida útil.

Mercado Dinâmico: aquele onde a demanda cresce mais rápido que a população ou os mercados que passam por ondas repentinas de mudança tecnológica, resultando na diminuição da vida útil dos produtos. As vendas são tanto para reposição de produtos que alcançaram o fim da sua vida útil quanto para substituição por novas tecnologias.

A seguir serão apresentados alguns métodos e as vantagens e desvantagens de sua aplicação para estimar a geração de REEE.

3.3.1 Método do Consumo e Uso (*Consumption and use method*)

O cálculo da estimativa da geração de REEE é baseado em dados de estoque e vida útil média. Também conhecido como *Approximation 1*, o método foi usado para calcular o potencial de REEE na Holanda e na Baixa Saxônia (estado federado da Alemanha). Matematicamente, o método é apresentado na Equação 1:

$$\text{Geração de REEE} = \frac{H(t)N_h(t)W}{L} \quad (1)$$

Onde: $[H(t)]$ = número de domicílios; $[N_h(t)]$ = nível de saturação por domicílio; $[W]$ = peso do EEE; e $[L]$ = vida útil média do EEE.

O método é baseado na adoção de uma vida útil média para os produtos, o que torna adequada sua aplicação em mercados saturados - onde não há desvios consideráveis no valor da vida útil média esperada - entretanto, diversos autores (por exemplo, ARAÚJO *et al.*, 2012; LAU *et al.*, 2013; SCHLUEP *et al.*, 2012) utilizaram o método tanto para o mercado dinâmico quanto para o saturado. Apesar de resultar em uma estimativa grosseira, o método é particularmente útil onde os dados de estoque disponíveis são confiáveis, mas as informações sobre o número de vendas são limitadas.

3.3.2 Método de Aproximação de Robinson (*Robinson's approach*)

O método é aplicável em países onde há restrições na obtenção dos dados requeridos em outras estimativas, como por exemplo número de venda e estoque de produtos. A aproximação de Robinson foi utilizada por Araújo (2015) para quantificar a geração de REEE de fluxo doméstico na Ilha de Fernando de Noronha – PE. Autores (por exemplo, ARAÚJO *et al.*, 2017; ALAVI *et al.*, 2015) consideram o método muito atrativo e direto já que requer dados de fácil obtenção, como: peso do EEE $[W]$, número de EEE $[N]$ e vida útil média do EEE $[L]$. A geração de REEE, em kg.ano^{-1} , é dada pela Equação 2:

$$E = \frac{WN}{L} \quad (2)$$

O número de unidades de EEE [N] é composto por duas partes: equipamentos em uso [O] e equipamentos armazenados [S]. Assim, a Equação 2 é reescrita como apresentado na Equação 3.

$$E = \frac{W(O+S)}{L} \quad (3)$$

O, S e L podem ser facilmente obtidos através da aplicação de questionários, enquanto para o W pode-se adotar valores encontrados na literatura ou a partir de informações na ficha técnica do produto.

3.3.3 Método do Intervalo de Tempo (Time step method)

É um método baseado em dados de estoque e venda. O potencial de geração de REEE é dado pela diferença entre o número vendas [S(t)] e o número de produtos em estoque [S_t(t)] no ano t, como apresentado na Equação 4. O número de vendas depende do número e produtos importados [I(t)], a quantidade produzida [P(t)] e o número de produtos exportados [E(t)] no ano t, como apresentado na Equação 5. Matematicamente, o método é apresentado abaixo:

$$REEE = S(t) - \{S_t(t) - S_t(t - 1)\} \quad (4)$$

$$S(t) = I(t) + P(t) - E(t) \quad (5)$$

Os dados de estoque podem ser obtidos através de estatísticas nacionais. O método foi utilizado por Araújo et al. (2012) para estimar o potencial de REEE de telefone celular e computador *Desktop* no Brasil. Este método fornece bons resultados tanto para o mercado saturado quanto para o dinâmico.

3.3.4 Método do Atraso Simples (Simple delay method)

O método consiste na suposição que ao atingir a vida útil, os EEE são descartados. Com isso, a geração de REEE no ano t é igual à quantidade vendida no tempo t – L. O método foi utilizado para estimar o potencial de REEE de TVs e computadores *desktop* na Índia. Matematicamente, o método é apresentado na Equação 6.

$$REEE(t) = S(t - L) \quad (6)$$

Os dados de venda são obtidos através de importação, produção e exportação, como apresentado na Equação 5. É um método aplicável para o mercado saturado onde a população é estável.

De acordo com a disponibilidade de dados e condições do mercado (saturado ou dinâmico), um método pode se mostrar mais apropriado que outro. Com isso, o Quadro 3 apresenta uma comparação entre os métodos de estimativa anteriormente citados e trabalhos na literatura onde foram aplicados.

Quadro 3 - Comparação entre o inventário dos métodos de estimativa da geração de REEE.

Método	Dados Requeridos			Aplicação		Referências
	Venda	Estoque	Vida Útil	Mercado Saturado	Mercado Dinâmico	
<i>Consumption and use</i>		✓	✓	✓		Araújo <i>et al.</i> (2012), EEA (2003), Lau <i>et al.</i> (2013), Schluep <i>et al.</i> (2012), UNEP (2007), Widmer <i>et al.</i> (2005)
<i>Robinson's approach</i>			✓	✓	✓	Alavi <i>et al.</i> (2015), Chung <i>et al.</i> (2011), Robinson (2009), Araujo <i>et al.</i> (2017)
<i>Time step</i>	✓	✓		✓	✓	Araújo <i>et al.</i> (2012); EEA (2003), Lau <i>et al.</i> (2013), Schluep <i>et al.</i> , (2012), UNEP (2007), Wang <i>et al.</i> (2013)
<i>Simple delay</i>	✓		✓	✓		EEA (2003), Lau <i>et al.</i> (2013), UNEP (2007), Wang <i>et al.</i> (2013)

Fonte: O Autor (2019).

3.4 Composição dos REEE

Em consequência das contínuas modificações de funções “*smart*” e do design dos EEE, os REEE contêm uma grande variedade de materiais a depender do tipo de produto que o gerou, com destaque para os metais (valiosos e perigosos) e os plásticos (Tabela 1). De acordo com Schluep *et al.* (2009), aproximadamente 60 componentes químicos da tabela periódica são encontrados em EEE, sendo a mistura mais complexa encontrada nas placas de circuito impressa. Por apresentar diferenças físicas e químicas dos resíduos sólidos urbanos e industriais, os REEE necessitam de um tratamento especial e de reciclagem para diminuir os impactos no meio ambiente e na saúde humana.

Tabela 1 - Composição de 1 (uma) tonelada de sucata.

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

Fonte: ARAUJO *et al.* (2017a).

As principais substâncias perigosas encontradas nos REEE são alumínio, arsênio, cádmio, bário, cobre, chumbo, mercúrio, cromo, PBB (bifenila polibromada), PBDE (difênil éter polibromado), PCB (bifenila policlorada), gases CFC (clorofluorcarbono), BFR (retardantes de chamas à base de brometos), TBBPA (tetrabromobisfenol), PVC (policloreto de vinila) entre outras (ABDI, 2013; EEA, 2003; KIDDEE, 2013; UNEP, 2009). Todas essas substâncias são potencialmente tóxicas e resultam em riscos tanto para as pessoas que manipulam os REEE (consumidor, pessoas envolvidas na coleta, triagem, descaracterização e reciclagem dos

equipamentos), quanto para o meio ambiente (contaminação de solos, de águas, efeitos nocivos ao ecossistema).

3.5 Impactos no meio ambiente e na saúde pública

O manejo do lixo eletrônico é uma tarefa complexa em função da sua composição, que pode conter mais de 1000 substâncias que se enquadram em categorias “perigosas” e “não-perigosas” (GARLAPATI, 2016). Se manejadas de forma inadequada, essas substâncias podem provocar danos tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana. Países em desenvolvimento têm enfrentado graves problemas de poluição ambiental e contaminação à saúde humana provocados pelas atividades envolvidas na reciclagem clandestina de REEE, principalmente em função da presença de metais pesados (AWASTHI *et al.*, 2016; KIDDEE *et al.*, 2013; GUPT, 2014).

Dessa forma, países desenvolvidos e em desenvolvimento têm buscado soluções para lidar com os problemas relacionados ao crescente fluxo dos REEE, tanto em quantidade quanto em toxicidade. Essas soluções têm como objetivo principal a redução na exploração de recursos naturais, a partir da reciclagem desses resíduos.

Para tanto, as políticas de controle da quantidade de materiais perigosos na composição dos EEE e controle da exportação de REEE devem ser cumpridas em todo o mundo, assim como, novos modelos de gestão devem ser introduzidas e implementadas para que os impactos negativos provocados pelo lixo eletrônico sejam reduzidos.

3.5.1 Impactos ambientais

O gerenciamento ambientalmente inadequado das substâncias tóxicas presentes na composição dos REEE pode resultar em riscos de contaminação tanto para aqueles que estão em contato com os materiais quanto para o meio ambiente. Diversos autores identificaram em seus trabalhos (BARBA-GUTIERREZ & ADENSO-DIAZ, 2008; ONGONDO & WILLIAMS, 2011; RODRIGUES, 2007) que o principal problema relacionado ao lixo eletrônico está na sua disposição incorreta em aterros sanitários devido à ocupação de áreas impróprias e o não aproveitamento dos diversos materiais recuperáveis, além do mais trata-se de um tipo de resíduo Classe

I (resíduos perigosos) com características de toxicidade (ABNT, 2004). A situação é agravada quando se tratam de aterros não controlados, onde o risco de contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas aumenta pela falta de controle do lixiviado com presença de substâncias tóxicas presentes nos REEE (SIGRIST *et al.*, 2015).

Nas áreas onde há processamento de lixo eletrônico, os estudos de contaminação do solo e da água devem estar quase sempre relacionados, uma vez que as substâncias tóxicas que contaminam o solo podem ser arrastadas pelas águas superficiais e subterrâneas para fora dos limites de controle e monitoramento. Na cidade chinesa de Guiyu, as amostras de solo e material particulado fino atmosférico das áreas circunvizinhas as unidades de reciclagem apresentaram níveis de contaminação acima dos padrões de qualidade ambiental do país para as seguintes substâncias: Pb, Cd, Cu, Sb, Zn, Cr e Mn (DENG *et al.*, 2017; ZHENG *et al.*, 2016; LI *et al.*, 2011). Segundo Wong *et al.* (2007), nas águas dos rios Lianjiang e Nanyang apresentaram constatou-se a presença de toxinas e alta concentração de metais dissolvidos em consequência da lixiviação ácida nas áreas de reciclagem em Guiyu.

Além da contaminação pelo contato dérmico e inalação, os seres humanos também correm risco da contaminação por ingestão de substâncias tóxicas, muitas vezes transferidas para os vegetais durante a absorção dos nutrientes na terra. Fu *et al.* (2008) observaram que nas áreas próximas a depósitos de lixo eletrônico, na cidade de Taizhou (China), as amostras de arroz apresentaram concentrações de Pb e Cd em níveis superiores ao admissível para o cultivo.

3.5.2 Impactos na saúde

Cada eletroeletrônico apresenta um nível de toxicidade característico. Como seus componentes não são biodegradáveis, mesmo em baixa quantidade podem se biomagnificar no ambiente através da cadeia alimentar (CHENG *et al.*, 2014). No Quadro 4 são apresentadas as principais substâncias associadas aos REEE e suas consequências na saúde humana.

Quadro 4 - Substâncias tóxicas associadas aos REEE e suas consequências na saúde.

Substâncias	Ocorrência nos REEE	Consequências
Alumínio (Al)	Fios, cabos, placas, revestimentos.	A contaminação crônica com o alumínio é apontada por muitos autores como um dos fatores ambientais causadores da doença do mal de <i>Alzheimer</i> .
Antimônio (Sb)	Agente de derretimento no vidro CRT, caixa de computador de plástico e uma liga de solda em cabeamento.	Substância cancerígena cuja inalação em níveis elevados e por um prolongado período de tempo pode causar dores estomacais, vômitos, diarreia e úlceras estomacais.
Arsênio (Ar)	Pequenas quantidades de arsenieto de gálio usado em diodos emissores de luz.	Efeitos crônicos em doenças de pele e câncer de pulmão e de sinalização nervosa auditiva.
Bário (Ba)	Monitores de tubos de raios catódicos MTRC, velas de ignição e lâmpadas fluorescentes	Fraqueza muscular, efeitos no sistema nervoso central, inchaço cerebral, danos no fígado, baço, coração e constrição dos vasos sanguíneos.
Berílio (Be)	Fontes de energia, lentes de raio x,	Beriliose, câncer de pulmão e doenças de pele.
(BRF); (PBBs); (PBDEs); (TBBPA)	Retardadores de chamas para plásticos, placas de circuito impresso, isolamento de cabos e teclados.	Distúrbios hormonais provocados pela inalação tóxica dos vapores produzidos pela combustão de circuito impresso e de caixas de plástico.
Cádmio (Cd)	Baterias recarregáveis de níquel-cádmio, camada fluorescente dos MTRC, tonners e tintas, tambores de máquinas fotocopiadoras, detectores de infravermelho e chips semicondutores.	Acumula-se nos rins, fígado, pulmões, pâncreas, testículos e coração, podendo atingir uma vida média de 30 anos nos rins. Em intoxicação crônica pode gerar descalcificação óssea, lesão renal, enfisema pulmonar, além de deformação fetal e câncer.
CFC	Refrigeradores, condicionadores de ar e espuma de isolamento.	Contribui para a redução na camada de ozônio da Terra, que conseqüentemente aumenta a incidência de câncer de pele.

Cromo hexavalente (CR VI)	Discos rígidos, cabos, invólucro plástico e como corantes em pigmentos.	Extremamente tóxico ao meio ambiente, provocando danos ao DNA e comprometimento permanente nos olhos.
Chumbo (Pb)	Monitores MTRC, baterias de chumbo-ácido (bateria automotiva), placas de circuito impresso, solda, cabos e lâmpadas fluorescentes.	É o mais tóxico dos elementos. Acumula-se nos ossos, cabelo, unhas, cérebro e rins. Em baixas concentrações causa dores de cabeça e anemia. Gera danos ao cérebro, sistema nervoso, rins e sistema reprodutor. O acúmulo deste elemento no ambiente resulta em efeitos agudos e crônicos na saúde humana, podendo levar à morte.
Mercúrio (Hg)	Lâmpadas fluorescente, monitores tela plana, algumas baterias alcalinas, interruptores e termostatos.	Doses de 3g a 30g são letais ao homem. Causa danos no cérebro, rins e fetos.
Níquel (Ni)	Tubos de raios catódicos, baterias, invólucros do computador e placas de circuito impresso.	Carcinogênico (atua diretamente na mutação genética). Também provoca reações alérgicas, bronquite e redução pulmonar.
Bifenilas policloradas (PCBs)	Condensadores, transformadores e fluidos de transferência de calor.	Câncer em animais e danos no fígado em seres humanos.
Policloreto de vinila (PVCs)	Cabos, invólucros de plástico de computador, teclados e monitores.	Substância perigosa e contaminante tóxico do ar. Sua combustão incompleta libera gás cloreto de hidrogênio, que forma o ácido clorídrico, causador de problemas respiratórios.
Selênio (Se)	Tambores de fotocopiadoras antigas.	Elevadas concentrações podem causar selenose.

Fonte: O Autor (2019).

Nota: Adaptado de ABDI (2013) e OLIVEIRA *et al.* (2017).

3.5.3 Exportação e reciclagem clandestina de REEE

Países desenvolvidos têm convenções, diretivas e leis para regular o descarte adequado de seus resíduos, inclusive os de EEE, grande parte baseado na responsabilidade estendida do produtor. Apesar disso, grande parte do lixo eletrônico da Europa e EUA ainda não é reciclado (BARBA-GUTIERREZ & ADENSO-DIAZ, 2008), principalmente pelos altos custos dos processos ambientalmente adequados,

o que leva ao envio de grandes quantidades de lixo eletrônico para países em desenvolvimento.

Mais da metade do lixo coletado para reciclagem em países desenvolvidos é enviado para processamento ou descarte em países em desenvolvimento, como China, Índia, Paquistão e Nigéria entre os principais destinos (STHIANNOPKAO & WONG, 2013). Esses quatro países fazem parte da Convenção da Basileia, que controla o movimento transfronteiriço de resíduos perigosos e seu depósito, de modo a manter esses resíduos nos países produtores ou permitir seu envio para aqueles que possam processá-los com segurança.

Para contornar o acordo e tornar a importação desse tipo de resíduo perigoso possível, carregadores e processadores de resíduos o rotulam como “bens usados”, por causa da possibilidade de reuso, reforma ou reciclagem. Do total de lixo coletado para reciclagem nos EUA, 34% é exportado, dos quais 93% vai para países em desenvolvimento na Ásia e os 7% restantes tem como destino México e Canadá (BALDÉ *et al.*, 2017). Os REEE apresentam em sua composição uma grande variedade de plásticos e materiais recuperáveis, dos quais mais de 70% são metais (NATUME & SANT’ANNA, 2011), o que torna imprescindível o manejo adequado desses compostos para minimizar os riscos de contaminação tanto para o homem quanto para o meio ambiente.

A presença de metais preciosos (ouro, prata, cobre, platina, paládio entre outros), alumínio, ferro e plásticos torna a reciclagem uma atividade interessante, principalmente para muitos grupos sociais de países em desenvolvimento, como catadores, atravessadores e algumas indústrias. Apesar dos benefícios ambientais e das restrições legais, são os interesses econômicos que movem o mercado da reciclagem (CHANCEREL, 2009), isto é, só há reciclagem quando existe o mercado para absorver o material reciclável. Entretanto, nem sempre o mercado de recicláveis é oficial e legalizado pelo poder público, através do controle econômico e ambiental.

Uma prática que vem crescendo em países em desenvolvimento é a reciclagem clandestina de REEE, caracterizada pela mão de obra barata e ausência ou baixo controle adequado dos processos (AWASTHI *et al.*, 2016), causando danos ao meio ambiente e à saúde da população circunvizinha aos locais de reciclagem. A cidade de Guiyu (China) tornou-se uma importante área de processamento de lixo eletrônico em 1995 (DRISCOLL, 2010). Atualmente está localizada na cidade a maior área de

reciclagem da China, e talvez do mundo, onde cerca de 67% da população trabalha em alguma atividade relacionada a reciclagem.

Segundo Wei (2012) as principais operações realizadas em Guiyu são: desmanche, aquecimento, remoção manual, queima de cabos, uso de ácidos para recuperação de metais, entre outras, todas muito rudimentares e potenciais fontes de poluição ambiental e da saúde humana. É comum que as áreas próximas a locais de armazenamento e desmanche de REEE apresentem algum grau de contaminação. Segundo Chen *et al.* (2011), mulheres gestante e crianças pequenas que vivem perto de instalações de reciclagem informal de lixo eletrônico, estão sob o risco de possíveis perturbações do feto e mal desenvolvimento neurológico infantil. Exames feitos em crianças que residem próximo a áreas de reciclagem em Guiyu, apresentaram maior concentração sanguínea de Pb e Cd, acarretando uma redução de habilidades de cognição (HUO *et al.*, 2007; ZHENG *et al.*, 2008). Li *et al.* (2008) relataram evidências da presença de cromo no sangue e cordão umbilical de recém-nascidos próximos as áreas de reciclagem de Guiyu.

Ainda na China, Wang *et al.* (2012) verificaram que mais de 30% das crianças de Luqiao e Lanxi, que vivem próximas de áreas de reciclagem de REEE, apresentaram níveis de chumbo no sangue superiores aos 10 $\mu\text{g.L}^{-1}$, limite estabelecido pela Organização Mundial da Saúde.

A Índia ocupa a segunda posição no que se refere ao processamento de lixo eletrônico. Acredita-se que 70% dos REEE processados ou dispostos no país tem origem no exterior e são levados principalmente para Delhi e Bangalore (STHIANNOPKAO & WONG, 2013). Em pesquisa realizada por Ha *et al.* (2009), foram encontrados altos níveis de Cu, Mo, Ag, Cd, In, Sb, Tl e Pb nas amostras de cabelo de trabalhadores do sexo masculino em instalações de reciclagem de lixo eletrônico próximo a Bangalore.

O Paquistão também se apresenta como um importante destino para lixo eletrônico, principalmente vindos da Europa, Austrália e EUA, com transbordo muitas vezes por Hong Kong ou Cingapura (STHIANNOPKAO & WONG, 2013). O desmanche manual é o principal método aplicado pelos trabalhadores nas áreas de processamento. Devido à falta de controle nos processos, diversas substâncias tóxicas são liberadas para o meio ambiente, como chumbo, cádmio, bário, mercúrio, cromo, entre outros (ABBAS, 2010). Umair *et al.* (2015) constataram que apesar dos

impactos sociais e da saúde dos trabalhadores, a atividade de reciclagem clandestina se mantém ativa no país pois é vital à sobrevivência de famílias muito pobres.

Nigéria é o país africano que importa o maior volume de EEE novos e usados, sendo o principal destino de países da Europa e Ásia (STHIANNOPKAO & WONG, 2013). Assim como nos países citados anteriormente, grande parte do lixo eletrônico é reciclado informalmente, o que contribui para a liberação de substâncias tóxicas para o meio ambiente e acarreta sérios problemas ao ecossistema nigeriano. Estudos realizados em três cidades nigerianas (Lagos, Ibadan e Aba), Ohajinwa *et al.* (2018) constataram altas concentrações de Pb, As, Cd, Hg, Sb, Ni, Cr e Cu nos solos dos locais onde são realizadas atividades informais de reciclagem como, queima, desmanche e reparação. O acúmulo excessivo dos metais nessas áreas e o contato contínuo de trabalhadores (contato dérmico, inalação ou ingestão equivocada) com o solo podem representar um risco a saúde.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, apresenta-se os materiais e métodos utilizados para desenvolvimento da pesquisa. De início, mostra-se as etapas para realização da revisão bibliográfica sobre os REEE no cenário nacional. Em sequência, discorre-se sobre a região escolhida como área de estudo e sua respectiva amostra, passando pelo método de estimativa de geração e os aspectos considerados na formulação do questionário aplicado. Por fim, apresenta-se os testes estatísticos utilizados para verificar a associação entre algumas variáveis levantadas.

4.1 Revisão do estado da arte das pesquisas sobre REEE no Brasil

Nesta revisão, apenas estudos referentes aos REEE no campo acadêmico brasileiro foram selecionados. Além disso, apenas artigos em inglês foram escolhidos para inclusão neste trabalho. Basicamente, a coleta e seleção dos estudos foram realizadas em três etapas. Na primeira etapa, foram utilizadas as palavras-chave "*Electric and electronic waste*" e "*Brazil*" nas plataformas de pesquisa *Scopus* (<http://www.scopus.com/>) e *Web of Science* (<http://isiknowledge.com/>). O uso das palavras-chave "*Electric and electronic waste*" e "*Brazil*" restringiu os parâmetros da pesquisa e produziu poucos resultados. Todos os estudos publicados até o ano de 2018 foram considerados nesta primeira etapa.

Na segunda etapa, os estudos recuperados nas plataformas de pesquisa foram analisados quanto à sua relevância para o assunto em análise. Assim, dos 37 artigos encontrados na plataforma de pesquisa *Scopus*, 23 foram considerados relevantes; e dos 29 artigos recuperados pela plataforma *Web of Science*, 21 foram considerados relevantes. Em última análise, 18 artigos da pesquisa *Scopus* apareceram na pesquisa *Web of Science*.

Na terceira etapa, os 26 artigos selecionados foram descritos e classificados de acordo com o foco do estudo, conforme descrito em detalhes na seção "Resultados e discussão".

Além disso, foi realizada a identificação dos autores proeminentes e referências utilizadas pelos artigos selecionados, por meio da pesquisa de frequência de citação e centralidade, utilizando o *software* CiteSpace.

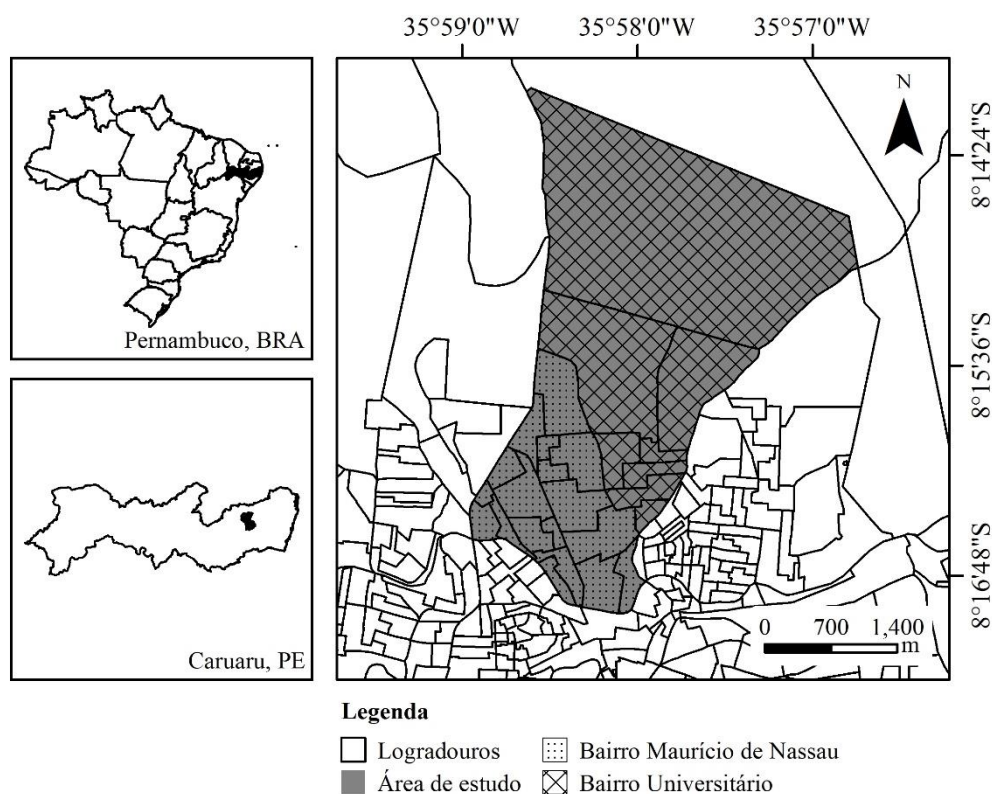
4.2 Área de estudo

Como área de estudo, foram escolhidos os bairros de classe média-alta Maurício de Nassau e Universitário, na cidade de Caruaru-PE. O fator preponderante para essa

escolha é que os bairros são vizinhos, melhorando a delimitação da população estudada. Além do mais, é esperado que os moradores dos bairros tenham comportamento de consumo de equipamentos eletroeletrônico parecido, facilitando assim, a interpretação dos dados obtidos.

O bairro Maurício de Nassau tem uma área ocupada de 3,6 km², possui 12.261 domicílios de natureza predial e territorial. Por sua vez, o bairro Universitário apresenta uma área ocupada de 3,12 km² e possui 8.420 domicílios de natureza predial e territorial (CARUARU, 2017b). A localização da área de estudo é apresentada no Mapa 1.

Mapa 1 - Bairros Maurício de Nassau e Universitário (Caruaru – PE).



Fonte: O Autor (2019).

4.3 Amostragem

A seleção de uma amostra de dimensão n com o objetivo de descrever fenômenos ou comparar o comportamento de variáveis em subgrupos de uma população de dimensão N , deve ser realizada por meio de processos de amostragem que resultem em bons estimadores e em boas estimativas.

Ao escolher a fração populacional que formará a amostra de estudo, o pesquisador assume certo grau de erro na estimativa dos parâmetros populacionais de cada variável, sendo este erro quantificável e de valor inversamente proporcional ao tamanho da amostra.

O Quadro 5 apresenta as fórmulas para cálculo do tamanho da amostra para variáveis quantitativas (discreta ou contínua) e qualitativa (nominal ou ordinal), considerando as populações infinitas ou finitas.

Quadro 5 - Fórmulas para o cálculo do tamanho de uma amostra.

População	Variável	
	Quantitativa	Qualitativa
Infinita ($N > 10000$)	$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \cdot \delta}{E} \right)^2$	$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \cdot \sqrt{p \cdot q}}{E} \right)^2$
Finita ($N \leq 10000$)	$n = \frac{N \cdot \delta^2 \cdot (Z_{\alpha/2})^2}{(N - 1) \cdot (E)^2 + \delta^2 \cdot (Z_{\alpha/2})^2}$	$n = \frac{N \cdot p \cdot q \cdot (Z_{\alpha/2})^2}{(N - 1) \cdot (E)^2 + p \cdot q \cdot (Z_{\alpha/2})^2}$

Fonte: MIOT (2011); onde: n – tamanho da amostra; $Z_{\alpha/2}$ – valor crítico para o grau de confiança desejada; δ – desvio padrão populacional da variável; E – erro padrão; N – tamanho da população; p – proporção de resultados favoráveis da variável na população; q – proporção de resultados desfavoráveis na população ($q = 1 - p$).

De acordo com Bussab e Morettin (2004), quando não conhecemos o valor do desvio padrão (δ^2) ou da proporção $p \cdot q$, podemos usar o fato de que ambos tem como valor máximo 1/4.

Dessa forma, o cálculo do número da amostra foi realizado para um total de 20.681 domicílios. Como $N > 10.000$, utilizou-se a fórmula para uma amostra infinita. Para um erro padrão de 5% e um grau de confiança de 95%, que resulta em $Z_{\alpha/2} = 1,96$, e a aproximação σ^2 ou $p \cdot q = 0,25$, a amostragem resultou em 377 domicílios. Escolheu-se uma amostra final de $n=380$ domicílios.

4.4 Diagnósticos sobre os hábitos de consumo

Dentre as pessoas do grupo estudado, foi feita uma previsão do consumo dos equipamentos eletroeletrônicos para os quais se quis verificar a produção de resíduos. As pessoas foram entrevistadas por meio de um questionário semiestruturado, onde foram verificadas:

- quantidades e tipos de produtos eletroeletrônicos, em uso e fora de uso (por não funcionamento ou obsolescência) no domicílio;
- o tempo que cada produto, em uso ou fora de uso, se encontra no domicílio;
- período de tempo em que se usa o produto eletroeletrônico antes de substituí-lo;
- como/onde acondiciona o resíduo eletroeletrônico e/ou como/onde o descarta.

O questionário foi elaborado de acordo com estudos que avaliaram os fatores que podem incentivar pessoas/comunidades a participar da separação de resíduos sólidos. Realizada a adaptação para os resíduos eletroeletrônico, determinou-se os seguintes fatores:

1. Conhecimento e percepção, incluindo consciência, preocupação ambiental, conhecimento de programas de separação;
2. Fatores facilitadores, tal como existência de uma infraestrutura, superação de barreiras e um espaço de armazenamento suficiente;
3. Fatores de incentivo econômico, como preço, recompensas financeiras, doação para caridade, mercado para recicláveis;
4. Meios de comunicação e materiais informáticos que facilitam a participação das comunidades através de visitas porta a porta, folhetos, jornais, tv, rádio e etc.

4.5 Estimativa de geração dos REEE

Na ausência de dados reais quantitativos e qualitativos sobre a geração de REEE, o método de aproximação de Robinson (ROBINSON, 2009) fornece uma estimativa dessa geração a partir de alguns parâmetros de fácil obtenção, por meio da Equação 3, descrita em 3.3.2.

4.6 Características dos resíduos produzidos e indicadores sociais

Para realizar a associação entre as características (tipologia e frequência) dos resíduos listados no questionário e os indicadores sociais da família entrevistada (renda, escolaridade, idade, entre outros), serão utilizados os testes de correlação de Spearman e Qui-Quadrado, a partir do *software* estatístico *BioEstat*.

4.6.1 Correlação de postos de Spearman

O coeficiente de correlação de Pearson é o mais conhecido para obtenção desse tipo de relacionamento, mas nem sempre é o mais adequado, principalmente quando pelo menos uma das variáveis é medida em escala ordinal (PONTES, 2010). Nessa situação, o teste de correlação de postos de Spearman é o mais indicado, visto que não leva em consideração o valor intrínseco dos dados, mas sim sua ordem. O método não-paramétrico de correlação de postos usa dados em pares para testar a existência de uma associação entre duas variáveis. Diferentemente dos modelos paramétricos usuais, o método não exige uma distribuição normal para qualquer população, uma vez que podem aparecer pontos discrepantes (*outliers*) (TRIOLA, 2008). Usa-se a notação r_s para o coeficiente de correlação de postos de Spearman para evitar confusão em relação ao coeficiente de correlação linear r .

Depois de convertidos os dados de cada amostra em postos e ficar verificado que não houve empate em nenhuma das variáveis X ou Y, o valor exato do coeficiente é dado pela Equação 7:

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum d^2}{n \cdot (n^2 - 1)} \quad (7)$$

Onde r_s = coeficiente de correlação de postos; d = diferença entre os postos para os dois valores de um par e n = número de pares amostrais.

Caso haja algum empate entre as variáveis dos postos, o valor exato do teste estatístico será dado pela Equação 8:

$$r_s = \frac{n \sum xy - (\sum x) \cdot (\sum y)}{\sqrt{n \cdot (\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n \cdot (\sum y^2) - (\sum y)^2}} \quad (8)$$

Os valores críticos do coeficiente de correlação são dados pela Equação 9:

$$r_s = \frac{\pm Z_{\alpha/2}}{\sqrt{n - 1}} \quad (9)$$

Se $|r_s|$ exceder o valor crítico positivo, pode-se concluir que há correlação entre as variáveis. Se $r_s < 0$ e menor que o valor crítico negativo, então há correlação. Se a estatística de teste estiver entre os valores críticos positivo e negativo, conclui-se que não há qualquer correlação.

Entretanto, a determinação do coeficiente de correlação r_s não pode ser o único parâmetro a ser analisado, visto que, em algumas situações o coeficiente de correlação pode apresentar um valor moderado-alto mas a probabilidade de estatística não é significativa ($p > 0,05$) (GRANATO et al., 2011). Com isso, pode-se realizar o cálculo da significância através do teste t de Student.

Inicialmente, calcula-se a variável t_0 , dada pela Equação 10:

$$t_0 = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (10)$$

Em seguida, esse valor é comparado com o valor crítico, t_{tab} , encontrado na tabela T de Student a partir do nível de significância ($\alpha = 5\%$) e $n-2$ graus de liberdade.

Com relação a interpretação do teste, se $|t_0| > t_{tab}$, não se rejeita a hipótese de que a correlação é significativa. Caso contrário, a correlação é dita como estatisticamente não significativa.

4.6.2 Teste de correlação Qui-Quadrado

O teste Qui-Quadrado (X^2) tem como o objetivo de verificar a existência de uma associação entre duas variáveis qualitativas (X e Y). Neste teste, considera-se como hipótese nula que as variáveis são independentes, isto é, não estão associadas. Por sua vez, a hipótese alternativa é que as variáveis estão associadas, ou seja, são dependentes.

Para tanto, as frequências observadas (O) das variáveis são comparadas com as frequências esperadas (E) sob a hipótese de independência, através da tabela de contingência $r \times s$ (Tabela 2), onde r são as categorias da variável X e s as categorias da variável Y.

Tabela 2 - Frequência observada numa tabela de contingência – rxs.

X \ Y	1	2	...	s	Total marginal da linha
1	$O_{1,1}$	$O_{1,2}$	...	$O_{1,s}$	$\sum_{j=1}^s O_{1,j}$
2	$O_{2,1}$	$O_{2,2}$	...	$O_{2,s}$	$\sum_{j=1}^s O_{2,j}$
...	...	...	...	...	...
r	$O_{r,1}$	$O_{r,2}$	...	$O_{r,s}$	$\sum_{j=1}^s O_{r,j}$
Total marginal da coluna	$\sum_{i=1}^r O_{i,1}$	$\sum_{i=1}^r O_{i,2}$	...	$\sum_{i=1}^r O_{i,s}$	N

Fonte: GRANATO *et al.* (2018).

A frequência esperada de uma determinada célula é dada pelo quociente entre a multiplicação do total marginal da linha pelo total marginal da coluna e o número total da amostra, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Frequência esperada numa tabela de contingência - rxs.

X \ Y	1	2	...	s
1	$E_{1,1} = \frac{(\sum_{j=1}^s O_{1,j}) \cdot (\sum_{i=1}^r O_{i,1})}{N}$	$E_{1,2}$	...	$E_{1,s}$
2	$E_{2,1}$	$E_{2,2}$	...	$E_{2,s}$
...	...	...	...	...
r	$E_{r,1}$	$E_{r,2}$	...	$E_{r,s}$

Fonte: GRANATO *et al.* (2018).

A partir dos valores de frequência observada e esperada, será calculado o valor da estatística X^2 , dada pela Equação 11:

$$X_{calc}^2 = \sum \frac{(O-E)^2}{E} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^s \frac{(O_{i,j} - E_{i,j})^2}{E_{i,j}} \quad (11)$$

Em seguida, esse valor será comparado com o valor crítico tabelado da distribuição Qui-Quadrado, X_{tab}^2 . O valor tabelado depende do nível de significância α , geralmente $\alpha = 5\%$, e do grau de liberdade, dado por $(r-1) \cdot (s-1)$.

Quanto a interpretação do resultado, se $X_{cal}^2 < X_{tab}^2$ não se rejeita a hipótese de que as variáveis não estão correlacionadas. Caso contrário, $X_{cal}^2 > X_{tab}^2$, não se rejeita a hipótese de que as variáveis apresentam correlação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados da caracterização dos REEE produzidos em um bairro de classe média-alta no município de Caruaru-PE, assim como a revisão bibliográfica sobre o gerenciamento dos REEE no Brasil. Inicialmente, são apresentadas as principais pesquisas sobre REEE desenvolvidas no Brasil até o ano de 2018. A partir desses resultados, determina-se os principais autores e referências sobre REEE, tanto no Brasil quanto no mundo. Em seguida, determina-se as características de consumo e geração dos moradores da região de classe média-alta. Por fim, verificam-se associações entre características dos REEE e os indicadores sociais das famílias entrevistadas.

5.1 Gestão de REEE: modelos e tendências

Problemas associados ao alto fluxo de produção e a toxicidade do lixo eletrônico tornam o seu tratamento adequado um dos grandes desafios relacionados à gestão de resíduos, principalmente nos países em desenvolvimento. Estima-se que do total de lixo eletrônico gerado no mundo em 2016, apenas 20% (8,9 Mt) foi coletado e reciclado adequadamente. O gerenciamento dos 80% (35,8 Mt) não foi documentado, mas acredita-se que esses resíduos tenham sido dispostos inadequadamente ou reciclados em condições de ausência ou baixo controle da atividade (BALDÉ *et al.*, 2017).

Em muitos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, a gestão dos REEE tem ganhado destaque, principalmente em função dos problemas ambientais provocados pela geração acelerada, o descarte inadequado por parte da população e a falta de estratégias de prevenção e minimização de impactos ambientais e na saúde humana. Em alguns países, a situação se torna mais complexa devido à importação ilegal ou contrabando de REEE gerados em países desenvolvidos e que são enviados para os países mais pobres como materiais recicláveis.

Com isso, está aumentando o número de países que têm adotado legislações para a gestão desse tipo de resíduo. Em 2017, 67 países (66% da população mundial) estavam cobertos por leis nacionais de gestão de REEE (BALDÉ *et al.*, 2017). Entretanto, nem todos países cumprem as leis e muitos desses não possuem dados

que possibilitem medir a eficácia da legislação existente e para mostrar quaisquer melhorias potenciais no futuro.

Em todo o mundo, a Responsabilidade Estendida do Produtor (REP) surge como um princípio importante nas políticas de gerenciamento de lixo eletrônico. A REP cobra do produtor a responsabilidade pelo seu produto até a fase pós-consumo, incentivando o investimento na modificação dos processos de produção e no design do produto para minimizar o uso de recursos naturais e a geração de poluentes (GARLAPATI, 2016). A REP tem se mostrado uma boa política para resolver os problemas relacionados ao aumento na produção de lixo eletrônico.

5.2 Gestão de REEE no Brasil

5.2.1 Políticas e legislação

Uma das primeiras medidas adotadas para controlar o setor de eletrônicos no Brasil foi a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009). Essa política afirma a necessidade de mudanças tecnológicas e substituições que reduzam o uso de recursos e emissões por unidade de produção, bem como a necessidade de implementar medidas que reduzam as emissões de gases de efeito estufa (BRASIL, 2009).

No ano seguinte, a Lei 12.305/2010 estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que é considerada uma estrutura nacional para a gestão de resíduos sólidos (BRASIL, 2010a). A PNRS exige que fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos eletrônicos e seus componentes desenvolvam planos de ação para implementação de logística reversa de lixo eletrônico. Segundo Jabbour et al. (2014), o objetivo desta política é fazer com que as partes interessadas na produção, distribuição e comercialização internalizem os custos da inclusão da logística reversa para torná-los responsáveis por todo o ciclo do produto. No mesmo ano, o Decreto 7404/2010, que regulamenta o PNRS, estabelece o imperativo de formalização de sistemas de logística reversa por meio de acordo setorial, termo de compromisso ou regulamentação por parte da autoridade pública (BRASIL, 2010b).

Em resposta a essas políticas, a Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) fundou, em abril de 2016, a GREEN Eletron - gestora de logística reversa de equipamentos elétricos e eletrônicos, cujo objetivo principal foi estruturar, implantar e gerenciar um sistema de logística reversa de equipamentos

eletroeletrônicos, para garantir que as empresas associadas cumpram a legislação vigente (ABINEE, 2017). A Abinee também criou o Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Complexo Eletroeletrônico e Tecnologia da Informação (IPD Eletron), entidade tecnológica setorial sem fins lucrativos voltada à promoção e desenvolvimento de pesquisa, desenvolvimento e inovação, com a promoção de parcerias entre empresas e institutos de ciência e tecnologia, visando aumentar a competitividade industrial (ABINEE, 2017).

A Abinee destaca os desafios futuros para a indústria, em termos de gerenciamento de lixo eletrônico: (i) garantir a implementação de toda a infraestrutura necessária para realizar a coleta e o tratamento adequados dos equipamentos que colocam no mercado, tendo em vista a proximidade da assinatura do acordo setorial; (ii) criar uma nova cultura de consumo, proporcionando alternativas para a disposição de seus equipamentos ao final de sua vida útil; (iii) promover o surgimento de um novo setor da economia, com novos empregos gerados nas empresas de transporte, gestão e reciclagem de lixo eletrônico; e (iv) trabalhar para o modelo conceitual de economia circular, enfatizando a reutilização de materiais, partes e peças presentes no equipamento, e descartados pelos consumidores (ABINEE, 2017).

Estima-se que 50-80% do total de lixo eletrônico produzido no mundo seja enviado de países desenvolvidos (Austrália, Japão, Coreia, Europa Ocidental e América do Norte) para países em desenvolvimento (Brasil, China, Índia, China, Gana, Nigéria, México, Paquistão, Cingapura e Tailândia) (LUNDGREN, 2012; WEISS *et al.*, 2016). Em tais países em desenvolvimento, o lixo eletrônico é recebido como bens usados para reutilização ou reforma (GARLAPATI, 2016). Em relação ao controle dos movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos e sua disposição, o Brasil, como signatário da Convenção de Basileia, promulgou o texto da Convenção de Basileia no Decreto nº 875/93 (BRASIL, 1993). A PNRS também proíbe a importação de resíduos sólidos perigosos, como lixo eletrônico, mesmo para tratamento, reforma, reutilização ou recuperação (BRASIL, 2010).

Apesar de ser mencionado como país receptor de lixo eletrônico, não há estudos técnicos ou científicos que mostrem a extensão desse problema no Brasil. Segundo Ghosh *et al.* (2016), devido à natureza da atividade e às deficiências inerentes ao gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, é muito difícil estimar o tamanho desse mercado de receptores de lixo eletrônico no Brasil.

5.2.2 Estado da arte da pesquisa sobre o gerenciamento de REEE no Brasil

Um total de 26 artigos que abordaram pesquisas sobre REEE no Brasil foram recuperados e analisados. Estes artigos foram categorizados de acordo com um tópico de pesquisa chave, como segue: (i) estudos com foco no trabalho dos catadores; (ii) estudos com foco na previsão de produção de REEE; (iii) estudos com foco no comportamento dos cidadãos; (iv) estudos com foco em estratégias de gerenciamento; e (v) estudos com foco na composição e recuperação de REEE. Alguns desses estudos foram classificados como pertencentes a mais de uma das categorias, como mostra a Quadro 6. Os artigos têm um total de 601 citações e são atuais até o ano de 2018. Os artigos mais citados são Oliveira et al. (2012) e Araújo et al. (2012), com mais de 120 citações cada, segundo o Google Scholar. O periódico que contém o maior número de publicações é o *Journal of Cleaner Production*, com 6 artigos publicados sobre o tema desta pesquisa.

Quadro 6 - Características gerais dos estudos sobre REEE.

Referência	Citações	Revista	Foco					Indexação
			Trabalho dos catadores	Previsão de produção de REEE	Comportamento dos cidadãos	Estratégias de Gerenciamento	Composição e Recuperação de REEE	
Oliveira <i>et al.</i> (2018)	0	Production				✓		Scopus
Dias <i>et al.</i> (2018a)	8	Journal of Cleaner Production				✓		Scopus/ISI
Dias <i>et al.</i> (2018b)	0	Brazilian Journal of Chemical Engineering					✓	ISI
Moura <i>et al.</i> (2018)	1	Waste Management				✓		Scopus/ISI
Moura <i>et al.</i> (2017)	2	Resources, Conservation and Recycling			✓	✓		Scopus/ISI
Azevedo <i>et al.</i> (2017)	1	Environmental Science and Pollution Research				✓		Scopus/ISI
Paes <i>et al.</i> (2017)	3	Systemic Practice and Action Research				✓		Scopus/ISI
Oliveira Neto <i>et al.</i> (2017)	11	Resources, Conservation and Recycling				✓		Scopus/ISI
Scur & Barbosa (2017)	31	Journal of Cleaner Production				✓		Scopus/ISI
Campolina <i>et al.</i> (2017)	6	International Journal of Life Cycle Assessment				✓	✓	Scopus/ISI
Ghisolfi <i>et al.</i> (2017)	21	Waste Management	✓			✓		Scopus/ISI
Echegaray & Hansstein (2017)	42	Journal of Cleaner Production			✓			Scopus/ISI

Araujo <i>et al.</i> (2017)	0	Environmental Science and Pollution Research		✓	✓			Scopus/ISI	
Demajorovic <i>et al.</i> (2016)	6	Ambiente & Sociedade	✓				✓	Scopus	
Guarnieri <i>et al.</i> (2016)	22	Journal of Cleaner Production					✓	Scopus/ISI	
Damasceno <i>et al.</i> (2016)	0	Journal of the Brazilian Chemical Society					✓	Scopus/ISI	
Souza <i>et al.</i> (2016)	27	Waste Management					✓	Scopus/ISI	
Cabral Neto <i>et al.</i> (2016)	7	Clean Technologies and Environmental Policy		✓				Scopus/ISI	
Bouzon <i>et al.</i> (2016)	59	Resources, Conservation and Recycling					✓	Scopus/ISI	
Hirayama & Saron (2015)	9	Waste Management & Research					✓	Scopus/ISI	
Veit <i>et al.</i> (2014)	8	Rem: Revista Escola de Minas					✓	Scopus/ISI	
Rubin <i>et al.</i> (2014)	68	Journal of Cleaner Production					✓	✓	Scopus/ISI
Almeida <i>et al.</i> (2013)	18	Journal of Cleaner Production					✓	✓	Scopus/ISI
Quariguasi <i>et al.</i> (2013)	8	Journal of Industrial Ecology					✓		Scopus/ISI
Oliveira <i>et al.</i> (2012)	123	Waste Management					✓		Scopus/ISI
Araújo <i>et al.</i> (2012)	120	Waste Management		✓					Scopus/ISI

Fonte: O Autor (2019).

a) Trabalhos com foco no trabalho dos catadores

Estudos que direta ou indiretamente abordaram o trabalho dos catadores, suas formas de empoderamento, sua inclusão na gestão oficial de resíduos sólidos urbanos, e assuntos relacionados foram incluídos nesta seção.

Dois artigos com foco em catadores foram publicados. O artigo de Ghisolfi *et al.* (2017) abordaram os incentivos para melhorar a formalização do trabalho realizado pelos catadores. Este artigo utiliza metodologia de dinâmica de sistemas para avaliar a sustentabilidade das cadeias de suprimento, quanto ao uso de matérias-primas e contabilização de taxas de descarte, coleta, reciclagem e devolução de materiais de desktops e laptops. O trabalho concluiu que a formalização do trabalho de coleta seletiva pode garantir maior poder de barganha aos trabalhadores no contexto da indústria de reciclagem, além de ser uma forma de buscar a efetiva inclusão dos catadores na gestão formal do lixo eletrônico.

Demajorovic *et al.* (2016) observaram os desafios e oportunidades associados à implementação da logística reversa para computadores e telefones celulares no Brasil. A pesquisa exploratória incluiu 21 entrevistas com as diversas partes interessadas (governo, fabricantes, varejistas, empresas de reciclagem, organizações de catadores e acadêmicos) envolvidas no mercado de reciclagem de lixo eletrônico. Eles destacaram a ideia de que a superação de conflitos entre as organizações de catadores e a indústria de reciclagem é uma das principais barreiras para a integração dessas organizações no processo de logística reversa. Esses conflitos vão desde a falta de capacidade gerencial das cooperativas e associações de catadores à falta de vontade dos fabricantes, distribuidores e varejistas de trabalhar cooperativamente, especialmente no que diz respeito ao compartilhamento de custos.

b) Trabalhos com foco na previsão de produção de REEE

Esta seção considera estudos que utilizaram métodos para quantificar a geração de REEE com base em dados do Brasil. Araujo *et al.* (2017) estimaram a produção de lixo eletrônico em uma área ambientalmente protegida, a ilha de Fernando de Noronha. Um questionário foi aplicado a 83 moradores da ilha, com o objetivo de obter o número de equipamentos eletrônicos de consumo em uso e fora de uso nas residências. Com base nos dados coletados no questionário, vida útil do equipamento e seus pesos, foi utilizado o método de aproximação de Robinson

(ROBINSON, 2009) para mostrar o quadro de produção total de lixo eletrônico em 1 ano (1,3 toneladas) na ilha, para alguns equipamentos elétricos e eletrônicos (TV plasma/LCD, TV, desktop, laptop, geladeira, telefone celular, máquina de lavar roupa, ar condicionado); o item mais identificado do lixo eletrônico foi o celular.

Cabral Neto *et al.* (2016) propuseram um modelo matemático, baseado em séries temporais, para estimar a geração de sucata de baterias de chumbo-ácido. O modelo é baseado nas vendas de carros leves e na vida útil das baterias de chumbo-ácido. O artigo mostra que o número de vendas de veículos cresce a uma taxa relativamente baixa, em relação ao crescimento da geração de sucata de bateria chumbo-ácido e destaca que é uma informação importante para os tomadores de decisão no gerenciamento e na logística reversa.

Araújo *et al.* (2012) revisam a literatura sobre estimativas de geração de lixo eletrônico, com foco nos países da América Latina. Com base nas diferentes metodologias encontradas, o estudo indica que o cálculo do fluxo de equipamentos deve considerar a velocidade com a qual o equipamento é substituído. O trabalho prevê a geração de lixo eletrônico de alguns equipamentos eletrônicos (refrigeradores, lavadoras, televisores, freezers, sistemas de áudio, computadores e telefones celulares) para o ano de 2008. A pesquisa enfatiza que a estimativa de geração de REEE para equipamentos de rápida substituição, como computadores e telefones celulares, não deve ser feita por métodos que usem uma vida útil constante.

c) Trabalhos com foco no comportamento dos cidadãos

Esta seção reúne os estudos relacionados ao comportamento participativo das pessoas no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. Moura *et al.* (2017) realizaram um levantamento de estabelecimentos de assistência técnica e usuários institucionais de equipamentos eletroeletrônicos, na cidade de Blumenau (sul do Brasil), nos anos de 2010 e 2015. O trabalho destacou uma crescente preocupação com a natureza perigosa do lixo eletrônico e a importância de sua destinação adequada, dada a quantidade mínima de informações fornecidas à comunidade sobre os meios e locais apropriados para descartá-la. Como resultado, o descarte junto ao lixo doméstico e o armazenamento doméstico são as práticas mais comuns de descarte de lixo eletrônico. Os autores apontaram que o mercado de reciclagem de lixo eletrônico no Brasil tem aumentado, principalmente pelo envolvimento do mercado

informal, o que demonstra a percepção de valor econômico, relacionado ao lixo eletrônico. Esses pequenos avanços não estão alinhados com a logística reversa do setor de equipamentos eletroeletrônicos.

Araújo *et al.* (2017) consideraram aspectos relacionados ao consumo e manejo de lixo eletrônico pela população da ilha de Fernando de Noronha. A ausência de assistência técnica de equipamentos na ilha favorece o rápido descarte de equipamentos eletrônicos. Dados socioeconômicos, como renda e nível de escolaridade, mostraram uma correlação entre os métodos de descarte de lixo eletrônico e consciência ambiental, indicando que os esforços para orientar o manejo desse tipo de resíduo devem se concentrar na população de baixa renda da população insular. Como a maioria da população brasileira, a população da ilha trata o lixo eletrônico como lixo comum e não tem consciência dos riscos associados.

Echegaray & Hansstein (2017) coletaram informações de 806 cidadãos em nove capitais brasileiras para entender o comportamento do consumidor em relação à reciclagem de lixo eletrônico. Os resultados mostraram que a maioria dos entrevistados impactou positivamente o processo de reciclagem de equipamentos eletrônicos; isso é especialmente verdadeiro para as mulheres entrevistadas, embora a mesma maioria não apresente comportamentos compatíveis com as boas intenções. O trabalho recomenda que as pesquisas futuras se concentrem na importância social da infraestrutura pós-consumo necessária para apoiar a intenção positiva de reciclagem de lixo eletrônico.

d) Trabalhos com foco nas estratégias de gerenciamento

Esta seção reúne os artigos que abordam as diversas estratégias de gerenciamento relacionadas à geração, coleta, reutilização e reciclagem, tratamento, destinação e recuperação de áreas degradadas pela disposição final inadequada dos REEE.

Oliveira Neto *et al.* (2018) abordaram os ganhos ambientais derivados da política de logística reversa desenvolvida pela indústria brasileira de baterias. O trabalho revelou os principais resultados de um programa de logística reversa utilizado para o descarte de baterias e baterias portáteis para uso doméstico, desenvolvido pela Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. O programa fornece recibos para as baterias devolvidas pelos consumidores e varejistas aos pontos de coleta

registrados e seu encaminhamento por meio de um operador de logística certificado. Além de destacar a necessidade de um maior compromisso do governo para expandir este programa em todo o país, o trabalho também indica que 4.304.465 baterias alcalinas foram coletadas por meio dessa iniciativa, evitando assim o impacto ambiental negativo que teria derivado dos vários compostos químicos que as compõem.

Dias *et al.* (2018a) mostraram que o governo brasileiro não tem controle sobre as atividades de reciclagem de lixo eletrônico, apesar da existência de um mercado muito ativo para processamento, segregação e desmontagem desses materiais. No mercado interno, é realizado o processamento dos equipamentos mais simples, compostos principalmente de cobre, alumínio, ferro e polímeros. Componentes mais complexos, como placas de circuito impresso (PCI), discos rígidos (HD), memórias de computador, processadores de computador e coolers, que são ricos em platina, ouro, prata e compostos de terras raras, são separados, desmontados, moídos e enviados para o exterior para reciclagem em empresas estrangeiras.

Um estudo de Moura *et al.* (2018) dos rejeitos do processo de segregação de coleta seletiva em Blumenau, Santa Catarina, mostraram que o lixo eletrônico compreende 2,7% dos resíduos sólidos gerados na cidade. Os autores ressaltam o fato de que o descarte de equipamentos eletrônicos aumenta durante o período de Natal, quando esses dispositivos são dados como presentes, levando seus destinatários a descartarem os antigos. Devido à falta de logística reversa no gerenciamento de equipamentos eletroeletrônicos, o lixo eletrônico é descartado como lixo comum, junto com outros recicláveis. Os autores sugerem que campanhas educativas sobre o descarte correto de lixo eletrônico sejam lançadas antes do período natalino, com o apoio de empresas de assistência técnica. Moura *et al.* (2017) observaram que, com a implementação da logística reversa, a gestão de lixo eletrônico no Brasil deve considerar a solicitação de participação de instituições e empresas de assistência técnica.

O estudo conduzido por Azevedo *et al.* (2017) estimou os custos e os possíveis ganhos financeiros decorrentes da logística reversa de lixo eletrônico em Minas Gerais e demonstra a viabilidade econômica da reciclagem de lixo eletrônico. Além disso, esse artigo também ressalta o valor de conseguir que as empresas invistam em novas fábricas para a reciclagem de lixo eletrônico.

Paes *et al.* (2017) propuseram um modelo de gestão para o lixo eletrônico, a ser utilizado em instituições públicas de ensino superior, de acordo com as diretrizes estabelecidas no regulamento federal e na PNRS. O estudo foi conduzido sob o amparo de uma pesquisa-ação na UNIFEI (Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, Brasil), que contou com duas melhorias e ciclos de aprendizagem para gerenciar todo o lixo eletrônico da universidade. Os resultados do estudo tiveram efeitos práticos, levando ao descarte adequado de 474 resíduos eletroeletrônicos. Além disso, o estudo mostrou que a pesquisa-ação sobre gestão de lixo eletrônico é adequada para instituições públicas que lidam com problemas dessa natureza, porque tais instituições estão sujeitas basicamente ao controle burocrático, com respeito ao seu patrimônio público, e espera-se que sigam legislações rigorosas com objetivos geralmente conflitantes.

Oliveira Neto *et al.* (2017) avaliaram as vantagens econômicas e ambientais advindas da adoção da logística reversa do lixo eletrônico para reciclagem e reutilização por três fabricantes brasileiros de produtos eletroeletrônicos e três recicladores, dois no Brasil e um na Suíça. O estudo contou com observações e entrevistas semi-estruturadas com os participantes. Os resultados deste estudo mostram que a adoção da logística reversa do lixo eletrônico para reciclagem e reutilização resultou na redução do impacto ambiental nos setores abiótico, biótico, aquático e aéreo, além de ganhos econômicos para os fabricantes e recicladores; isso reflete um promissor mercado de logística reversa no Brasil. Outro resultado relevante é a apresentação de uma ferramenta simples de ecoeficiência destinada ao uso na prática organizacional. Essa ferramenta fornece um indicador de desempenho baseado em índices para implementar metas de melhorias contínuas na fase de reciclagem e reutilização, visando atingir um ciclo fechado.

Scur & Barbosa (2017) identificaram e analisaram as práticas de gestão da cadeia de suprimentos verde adotadas por cinco fabricantes de eletrodomésticos e duas associações profissionais de eletrodomésticos, utilizando entrevistas abrangentes sobre gestão ambiental interna, logística reversa, compras verdes, eco-design, avaliação do ciclo de vida, gerenciamento de resíduos e manufatura verde. Os resultados mostraram que o manejo de resíduos foi a técnica mais utilizada entre os participantes da pesquisa. As compras verdes e avaliação do ciclo de vida foram as práticas relativamente menos difundidas. Disparidades significativas na adoção de

certas medidas da Gestão Verde da Cadeia de Suprimentos (*Green Supply Chain Management* - GSCM), foram observadas entre empresas com certificação ISO 14001 e empresas não certificadas.

Campolina *et al.* (2017) estudaram a reciclagem de alguns plásticos que compõem o lixo eletrônico, utilizando a estrutura metodológica estabelecida pela ISO 14040 (ISO, 2006) e objetivando determinar o inventário de ciclo de vida (ICV) do processo de reciclagem de plástico de lixo eletrônico em uma empresa no Brasil. Este trabalho também identificou e quantificou os impactos ambientais derivados do processo de reciclagem dos principais plásticos: acrilonitrila-butadienoestireno (acrylonitrile-butadienestyrene - ABS) e poliestireno de alto impacto (high-impact polystyrene - HIPS). Como resultado, além de apresentar o inventário, também foi possível determinar se houve redução no consumo de energia e nas emissões de CO₂. Em relação à produção de ABS virgem e HIPS, os processos de reciclagem para esses plásticos mostraram uma redução no consumo de energia em aproximadamente 90% para ambos os plásticos e uma redução nas emissões de CO₂ em aproximadamente 84% para HIPS e 87% para ABS. Os plásticos reciclados pela empresa retêm mais de 90% de suas propriedades mecânicas virgens. O estudo demonstra que a reciclagem é altamente relevante e que os componentes presentes no lixo eletrônico devem receber tratamento adequado.

e) Trabalhos com foco na composição e recuperação dos REEE

Esta seção apresenta uma breve descrição dos artigos que compõem este estudo e concentraram-se na composição e recuperação de lixo eletrônico. Em geral, esses artigos são estudos que realizam análises de toxicidade de lixo eletrônico e o impacto dos processos de recuperação de lixo eletrônico no meio ambiente.

Dias *et al.* (2018b) realizaram um estudo para determinar a toxicidade dos resíduos dos monitores de tubo de raios catódicos (*Cathodic Ray Tube* - CRT), conduzindo testes de lixiviação em 7 tipos diferentes de monitores. A presença de chumbo, derivada do funil CRT e do pescoço (cuja composição inclui 20% de óxido de chumbo) foi detectada, indicando que o lixiviado era perigoso. Os autores concluem recomendando que novos estudos sejam realizados para avaliar a periculosidade de outros elementos presentes nos CRTs, como o bário e o estrôncio.

Damasceno *et al.* (2016) realizaram testes de incubação de placas de circuitos impressos (PCI) em misturas contendo matéria orgânica, caulinita e óxidos de ferro (os principais componentes do solo), em escala de laboratório, para simular a liberação de chumbo no solo por este tipo de resíduo. A mobilidade e/ou biodisponibilidade do chumbo nas misturas foram avaliadas por extração sequencial em três etapas. Os resultados mostraram a migração do metal, mas a modelagem do movimento do chumbo em misturas serve apenas como um índice de poluição, e não fornece informações sobre os riscos de biodisponibilidade apresentados pelo metal. A extração sequencial mostrou que o chumbo pode tornar-se biodisponível, porque foi encontrado nos pseudo-componentes da matéria orgânica e dos óxidos de ferro.

Hirayama & Saron (2015) avaliaram os métodos para identificar a composição de polímeros, mais especificamente acrilonitrila-butadieno-estireno e poliestireno de alto impacto presentes nos resíduos de equipamentos de computação, para determinar seu potencial para reciclagem mecânica. Segundo os autores, uma determinação precisa da composição é necessária, devido à insuficiência das informações contidas nas etiquetas ou códigos de símbolos do poliestireno de alto impacto (HIPS) e acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS), os principais constituintes do polímero termoplástico nos resíduos de equipamentos de computação. Embora as análises de infravermelho por transformada de Fourier (IVTF) tenham sido bem sucedidas na identificação dos polímeros, não se mostrou tecnicamente ou economicamente viável aplicá-las à reciclagem em escala industrial. O trabalho conclui demonstrando a necessidade de maior regulação da sistematização na identificação dos polímeros contidos nesses resíduos que favorecem a reciclagem mecânica desses materiais.

Segundo Veit *et al.* (2014), as placas de circuito impresso (PCI), que compreendem aproximadamente 30% do lixo eletrônico, contêm metais de grande valor econômico. No entanto, os processos industriais necessários para recuperar esses metais, que baseiam-se nos princípios de pirometalurgia e hidrometalurgia ou seus processos associados, são complexos. Assim, é possível um pré-tratamento desses resíduos, aumentando a eficiência e reduzindo custos em ambos os processos. Para tanto, os autores realizaram o pré-tratamento, utilizando um concentrador Mozley para separar os materiais, de acordo com as diferenças de densidade, onde as PCI eram fragmentados em partículas. Eles determinaram que

um tamanho de partícula de menos de 1 mm fornece uma boa liberação dos metais. Os ensaios recuperaram concentrados que continham até 95% de estanho, 96% de níquel e 98% de prata, refletindo a viabilidade de processos mecânicos para obtenção de frações concentradas em metais a partir das PCI.

Rubin *et al.* (2014) ressaltaram que, apesar da importância da recuperação de materiais das placas de circuito impresso (PCI), os processos de recuperação são muitas vezes ambientalmente impactantes. Assim, eles aplicaram a metodologia de avaliação do ciclo de vida (ACV) para avaliar e comparar dois processos baseados em mecânica e eletroquímica para recuperar o cobre da sucata de PCI. Um dos processos usando ácido sulfúrico e outro usando uma combinação de ácido nítrico e clorídrico. O processo baseado no ácido sulfúrico representou o impacto potencial mais significativo, 1,26 vezes maior do que o outro, em termos de consumo de recursos, como ar e água. O artigo concluiu mostrando a utilidade da ferramenta ACV na determinação do processo de recuperação de material mais apropriado para o lixo eletrônico.

De modo geral, foi verificado que existem mais trabalhos publicados focados em estratégias de gerenciamento. De fato, ações de planejamento destinadas a facilitar a logística reversa desejada são a etapa inicial e básica do gerenciamento de lixo eletrônico. Também é necessário considerar a importância de todas as partes interessadas envolvidas na cadeia de equipamentos eletroeletrônicos (fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, governo e consumidor final) para fechar o ciclo do produto de acordo com o conceito de economia circular.

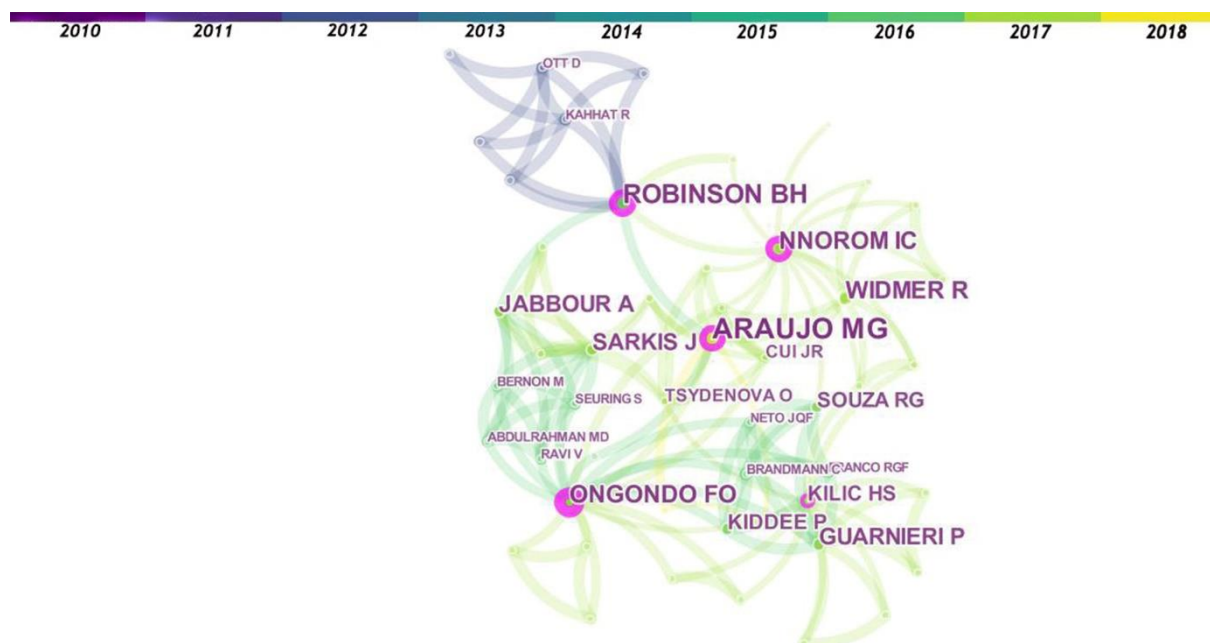
5.2.3 Análise de co-citação de documento pelo CiteSpace

Utilizando o *software* CiteSpace, foram identificadas informações sobre os 26 artigos selecionados para esta revisão do estado da arte das pesquisas sobre REEE no Brasil, como os autores mais citados por esses trabalhos, as referências mais utilizadas e o grau de centralidade (indicador fornecido pelo próprio *software*). As Figuras 2 e 3 apresentam as redes dos principais autores e principais referências, respectivamente.

Nas Figuras 2 e 3, cada ponto representa um nó e o tamanho dos nós indica a frequência de citação de cada autor ou referência. Círculos rosa, alternando em espessura, correspondem à centralidade (CHEN, 2014). Portanto, quanto mais

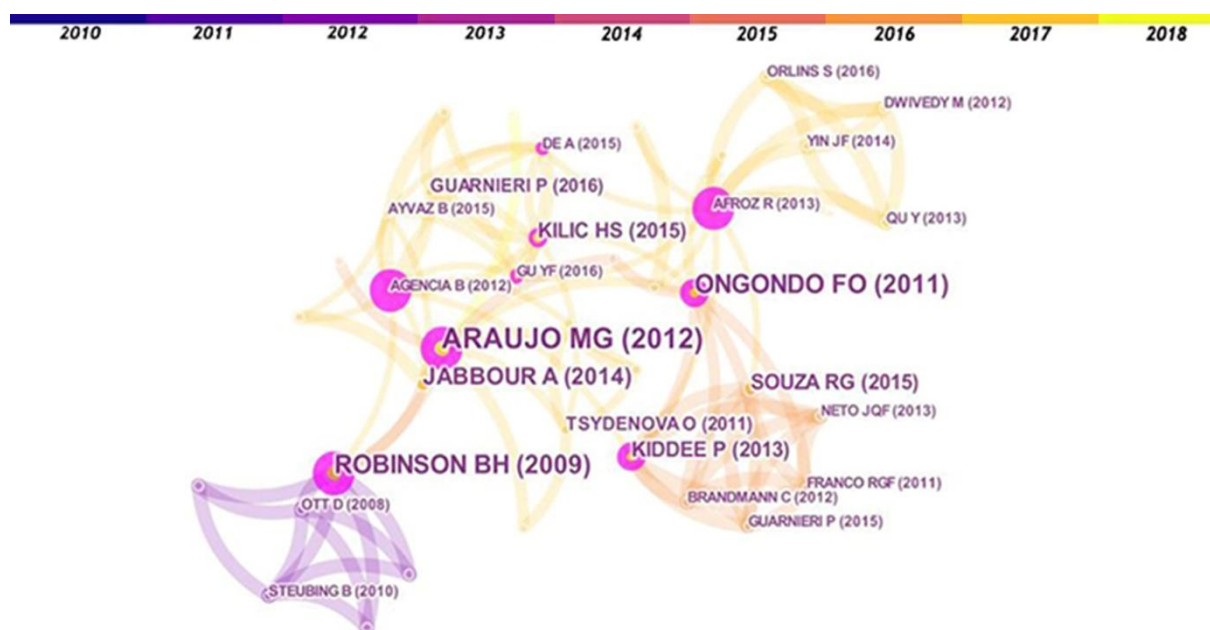
espesso o círculo rosa, maior o grau de centralidade. Cada linha anexada aos nós representa um único caminho percorrido para compartilhar as informações. Finalmente, o arranjo das cores simplifica a identificação das partes mais antigas, em relação às partes mais recentes, conforme a linha do tempo na parte superior de cada figura.

Figura 2 - Rede dos principais autores fornecida pelo CiteSpace.



Fonte: O Autor (2019).

Figura 3 - Rede das principais referências fornecida pelo CiteSpace.



Fonte: O Autor (2019).

Dada a frequência das citações, as Tabelas 4 e 5 apresentam um ranking dos principais autores e as principais referências, respectivamente.

Tabela 4 - Principais autores de acordo com a frequência de citações.

Frequência	Centralidade	Autores Citados
8	0,24	Araújo, MG
7	0,27	Robinson, BH
6	0,24	Nnorom, IC
6	0,40	Ongondo, FO
5	0,04	Widmer, R
5	0,06	Jabbour, A
5	0,07	Guarnieri, P
4	0,15	Kilic, HS

Fonte: O Autor (2019).

Tabela 5 - Principais referências de acordo com a frequência de citações.

Frequência	Centralidade	Referências
8	0,41	Araújo <i>et al.</i> (2012)
6	0,38	Ongondo <i>et al.</i> (2011)
6	0,53	Robinson (2009)
5	0,06	Jabbour <i>et al.</i> (2014)
4	0,36	Kiddee <i>et al.</i> (2013)
4	0,16	Kilic <i>et al.</i> (2015)
4	0,05	Souza <i>et al.</i> (2015)

Fonte: O Autor (2019).

A análise, por frequência, das citações permitiu a identificação dos três autores mais proeminentes que estudam os REEE: Araújo (Araújo, MG) (ARAÚJO & MAHLER, 2009; ARAÚJO *et al.*, 2012), Robinson (Robinson, BH) (ROBINSON, 2009) e Ongondo (Ongondo, FO) (ONGONDO & WILLIAMS, 2011; ONGONDO, WILLIAMS & CHERRETT, 2011). Sua proeminência foi reforçada pela constatação através das referências mais citadas, onde esses autores também estão presentes.

Após analisar a frequência das citações, é importante analisar o indicador de centralidade. No CiteSpace, os escores de centralidade entre os nós são normalizados em intervalos de [0; 1] (CHEN, 2014). Portanto, os nós mais espessos representam um maior grau de centralidade e, portanto, apresentam valores mais próximos de 1. Assim, foram determinados os escores de centralidade para os principais autores e as principais referências, como mostram as Tabelas 6 e 7.

Segundo Chen & Guan (2011), o grau de centralidade permite a identificação de pontos de virada intelectual, isto é, quando um dado conhecimento possibilita uma inovação científica. A análise dos autores, de acordo com o grau de centralidade, reforça a proeminência de Araújo, Robinson e Ongondo. Em relação às referências, o maior grau de centralidade foi apresentado por Afroz *et al.* (2013), que pode ser considerado como um dos trabalhos mais inovadores sobre o assunto, originando, inclusive, novas frentes de pesquisa.

Tabela 6 - Principais autores de acordo com a centralidade.

Frequência	Centralidade	Autores Citados
6	0,40	Ongondo, FO
7	0,27	Robinson, BH
8	0,24	Araújo, MG
6	0,24	Nnorom, IC
4	0,15	Kilic, HS

Fonte: O Autor (2019).

Tabela 7 - Principais referências de acordo com a centralidade.

Frequência	Centralidade	Referências
2	0,70	Afroz <i>et al.</i> (2013)
2	0,61	ABDI (2012)
6	0,53	Robinson (2009)
8	0,41	Araújo <i>et al.</i> (2012)
6	0,38	Ongondo <i>et al.</i> (2011)
4	0,36	Kiddee <i>et al.</i> (2013)

Fonte: O Autor (2019).

5.3 Caracterização dos REEE produzidos em região de classe média-alta

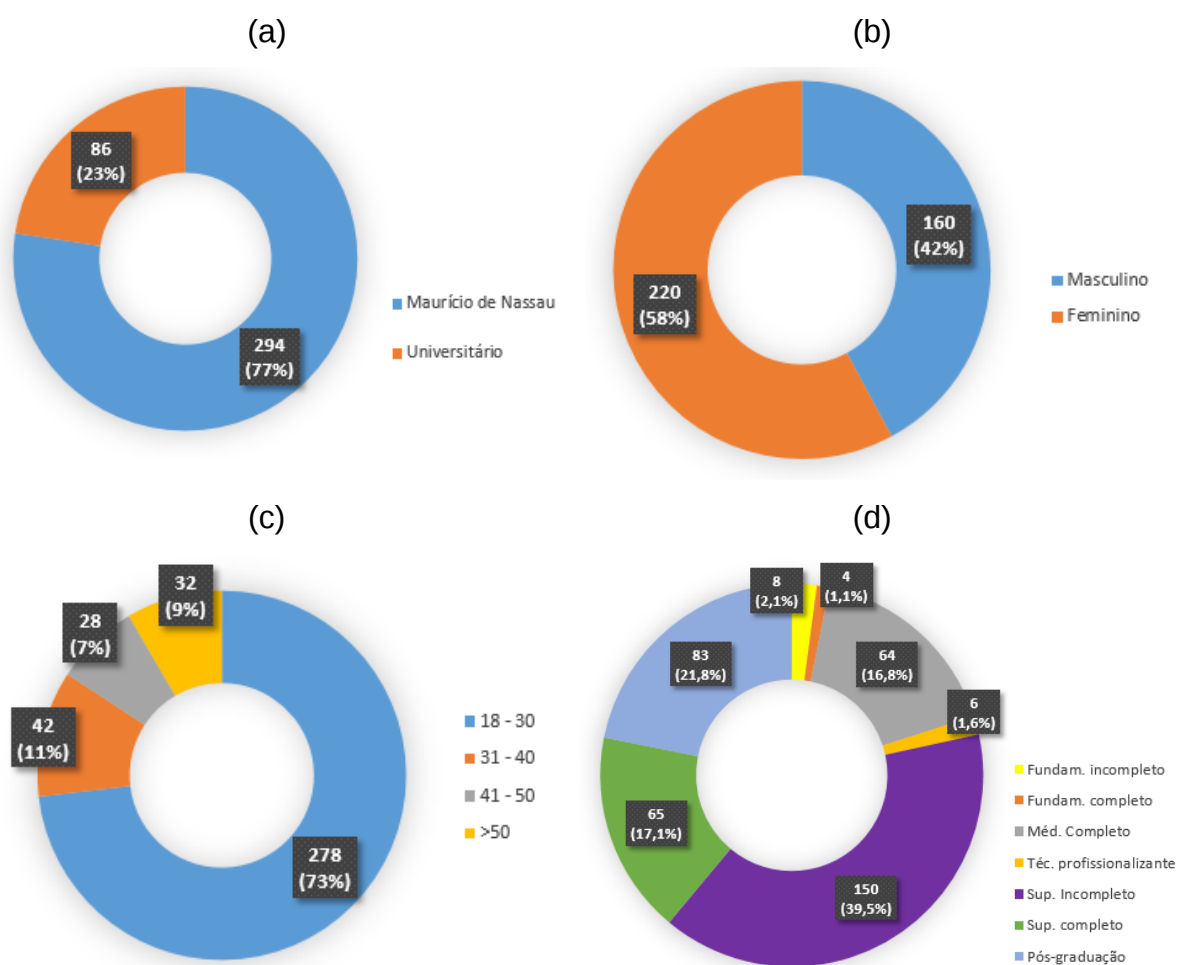
A partir da aplicação dos 380 questionários, foram levantados dados que abrangem desde indicadores sociais (questões 1 até 6), até características ligadas aos equipamentos eletroeletrônicos (questões 7 até 9) e ao comportamento dos moradores (questões 10 até 14).

5.3.1 Caracterização dos entrevistados

No que diz respeito às características dos entrevistados, os resultados mostraram uma maior participação de mulheres e pessoas entre 18 e 30 anos. Com relação ao grau de instrução, quase 80% dos participantes estão cursando o ensino

superior ou já têm o curso superior completo. Com relação aos bairros que formam a área de estudo, foram entrevistados mais moradores do bairro Maurício de Nassau que do Universitário, visto que o primeiro apresenta uma quantidade muito maior de domicílios. Conforme a Gráfico 1, as distribuições supracitadas acompanham os resultados encontrados pelo censo 2010, onde o número de mulheres é superior aos de homens e existem mais pessoas na faixa etária de 15-64 anos (IBGE, 2010).

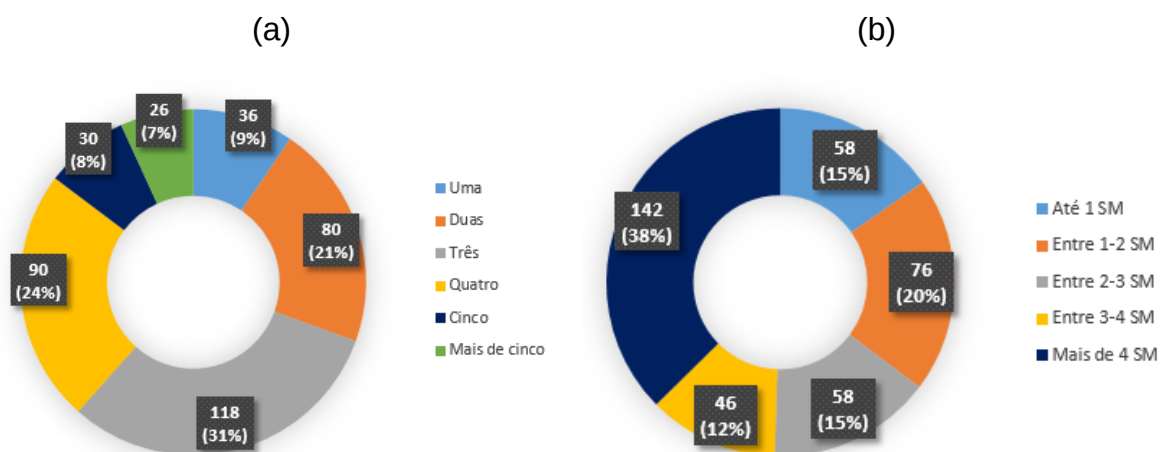
Gráfico 1 - Distribuição dos participantes por bairro (a), por gênero (b), por faixa etária (c) e por grau de instrução (d).



Fonte: O Autor (2019).

Outros indicadores sociais avaliados foram quantidade de pessoas por domicílio e renda familiar, conforme Gráfico 2. Os resultados mostraram um envolvimento, direto ou indireto, de aproximadamente 1.216 pessoas na pesquisa, com uma média de 3 pessoas por domicílio. Do total de domicílios levantado, 38% apresentaram renda maior que quatro salários mínimos, sendo a renda média de 3,5 salários mínimos.

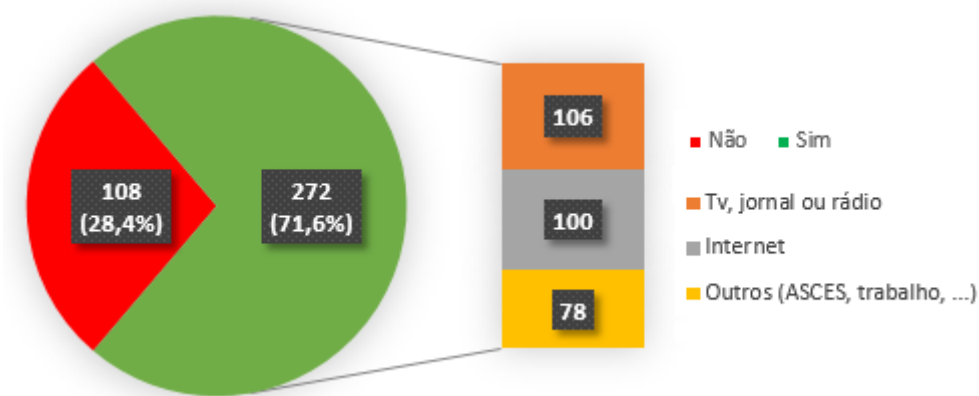
Gráfico 2 - Distribuição dos domicílios por quantidade de pessoas por domicílio (a) e renda familiar (b).



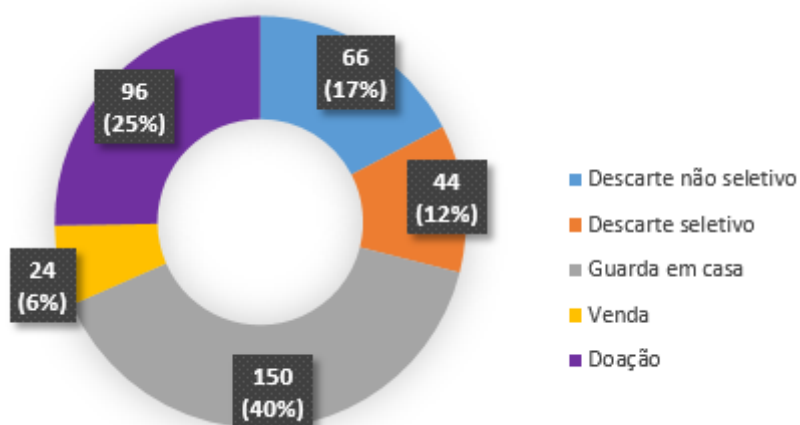
Fonte: O Autor (2019).

No que diz respeito ao conhecimento prévio da população sobre o que são REEE (Gráfico 3), observou-se que mais de 70% dos entrevistados já ouviram falar sobre esse tipo de resíduo sólido, com TV e internet entre os principais meios de informação. Isso pode estar ligado ao fato da prefeitura ter implantado em bairros da cidade, inclusive os que formam a área de estudo, um serviço denominado “cata-treco”, onde a população solicita o recolhimento de diversos resíduos sólidos, entre eles REEE. Além do mais, uma instituição particular de ensino superior localizada no Bairro Universitário, através do programa ASCES Sustentável, também realiza a coleta de REEE em pontos de coleta localizados na instituição.

Entretanto, ao analisar o método de destinação adotado pelas famílias (Gráfico 4), verifica-se que apenas 12% dos entrevistados afirmam descartar corretamente seu lixo eletrônico, através dos programas de coleta seletiva. Os demais descartam junto com o lixo comum (17%), ou ainda consideram os equipamentos como “bens usados” e os guardam nos domicílios, vendem ou acabam doando para terceiros. Embora existam ações para realizar a coleta desses resíduos, grande parte da população não participa. Em levantamento realizado pela prefeitura municipal na área de estudo e repassado para o autor dessa pesquisa, foi verificado que de 57 prédios convidados para participar do programa de coleta seletiva, apenas 7 aceitaram.

Gráfico 3 - Conhecimento prévio sobre os REEE.

Fonte: O Autor (2019).

Gráfico 4 - Método de destinação adotado pelas famílias.

Fonte: O Autor (2019).

Sabe-se que os equipamentos eletroeletrônicos apresentam em sua composição materiais que podem provocar danos ao meio ambiente e a saúde humana, assim como apresentam materiais valiosos (plásticos e metais), sendo a reciclagem um dos tratamentos mais indicados para esses resíduos. Uma das etapas fundamentais para que o processo de reciclagem dos REEE seja eficiente, é a sua separação dos demais resíduos sólidos, seguida do descarte em local adequado (pontos de coleta).

Dessa forma, foi realizado um levantamento sobre a importância da separação do lixo eletrônico do lixo comum nos domicílios da área de estudos e os principais

motivos que podem levar a realização (ou não) dessa prática, conforme Tabela 8 e Tabela 9 respectivamente.

Tabela 8 - Motivos que influenciam as famílias a separar os REEE dos demais resíduos sólidos.

Motivo	Frequência
Acho difícil de separar e ocupa muito espaço.	44
A empresa de serviço de coleta domiciliar que deve fazer essa separação.	20
Acredito que a separação do lixo eletrônico dos demais ajuda a reduzir os impactos ambientais.	314
Meu comportamento de separar o lixo eletrônico poderá ter efeito educacional nos demais membros da minha família e nas pessoas da comunidade.	186
Outros (por exemplo, facilitar o reaproveitamento)	6

Fonte: O Autor (2019).

Tabela 9 - Fatores que incentivam as famílias participarem de um programa de coleta seletiva.

Motivo	Frequência
Preocupação com meio ambiente	324
Facilidade de acesso ao local de descarte	166
Recompensa financeira	88

Fonte: O Autor (2019).

Do total de entrevistados, 368 (96,8%) consideram importante que a separação seja realizada nos domicílios, dos quais 83% têm como fator motivacional a redução dos impactos ambientais provocados pelo descarte adequado dos REEE, conforme Tabela 8.

Entre os fatores de incentivo a participação em um programa de coleta seletiva, os entrevistados apontaram a preocupação ambiental e a localização do ponto de descarte como os mais importantes, com índices de 85% e 40% respectivamente. A recompensa financeira pelo descarte foi apontada por 23% dos participantes como fator motivacional para participação nos programas de coleta seletiva.

Apesar dos benefícios ambientais da reciclagem de resíduos sólidos, são os interesses econômicos que movem esse mercado. Para existir reciclagem é preciso que exista um mercado para receber os materiais recicláveis. Diante disso, foi verificada a disposição dos entrevistados em comprar algum equipamento eletroeletrônico usado ou remanufaturado, onde 308 participantes (81%)

responderam que comprariam um produto eletrônico que foi recuperado, enquanto 72 (19%) responderam não ter intenção em adquirir um produto eletrônico que não é novo, conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Motivo para aquisição (ou não) de um EEE usado ou remanufaturado.

	Resposta	Frequência
Sim	se o preço for consideravelmente menor que o do novo	164
	se comprovado o desempenho e durabilidade do produto.	246
	para produtos específicos (celular, computador).	24
Não	a durabilidade e desempenho do produto são duvidosos.	40
	a tecnologia, estilo e funcionalidade de produtos usados ou	36
	reciclados/reaproveitados podem não atender minhas necessidades.	

Fonte: O Autor (2019).

Com relação ao comportamento dos entrevistados quanto ao gerenciamento dos REEE, os resultados estão de acordo com estudos realizados pelo mundo e podem ajudar o poder público nas ações para melhorar o gerenciamento desses resíduos na área de estudo, com possibilidade de se estender para todo o município.

O fato de grande parte dos entrevistados já ter um conhecimento prévio sobre os REEE e mesmo assim não realizar o descarte de maneira ambientalmente adequada, mostra que os programas de educação ambiental realizados nos bairros precisam ser reforçados. Para Pérez-Belis *et al.* (2015), a educação ambiental é um fator preponderante para melhorar o gerenciamento do lixo eletrônico. Trabalhos realizados no Brasil relatam as principais medidas adotadas pela população para o descarte dos REEE: descarte junto ao lixo comum (ARAUJO *et al.*, 2017) e venda, doação ou armazenamento nos domicílios (FRANCO & LANGE, 2011; RODRIGUES *et al.*, 2015).

Outro ponto importante levantado na pesquisa é a motivação dos entrevistados a participar de um programa de coleta seletiva, onde a preocupação ambiental e a facilidade de acesso ao local de descarte foram os principais fatores, reforçando a necessidade de programas de educação ambiental mais efetivos. Diversos estudos destacam a importância da localização dos pontos de coleta de REEE (WANG *et al.*, 2011; CHUNG *et al.*, 2011; SAPHORES *et al.*, 2012; ARAUJO *et al.*, 2017).

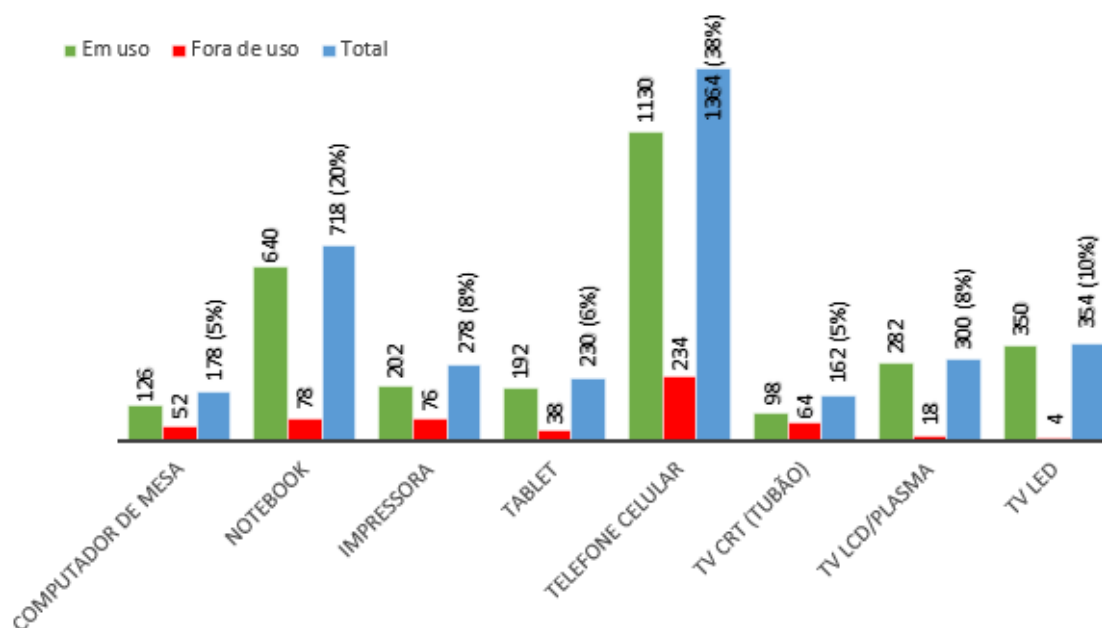
Por fim, o índice de disposição por parte dos participantes em adquirir um produto eletrônico reciclado/reaproveitado, principalmente telefone celular, foi alto e deve ser levado em consideração no planejamento do gerenciamento dos REEE. Visto que, em 2018, as vendas de celulares novos no Brasil caíram 6%, enquanto isso foram registradas quase 700 mil vendas de aparelhos remanufaturados (GLOBO, 2019). Dessa forma, o mercado de equipamentos eletrônicos usados surge como uma saída para os consumidores que querem acompanhar os avanços tecnológicos gastando menos.

5.3.2 *Estoque de equipamentos eletroeletrônicos nos domicílios*

O estoque de EEE nos domicílios corresponde ao total de equipamentos em uso mais os equipamentos que estavam fora de uso no momento da coleta dos dados. Para os 8 tipos de equipamentos levantados na pesquisa, os dados revelaram um estoque total de 3.584 equipamentos, dos quais 3.020 (84%) estão em uso e 564 (16%) estão fora de uso, conforme Gráfico 5.

O telefone celular é o equipamento mais presente nos domicílios, seja em uso (1.130) ou armazenado (234), com uma média de 5 equipamentos por domicílio (Gráfico 6). Em seguida aparece o notebook, onde 640 equipamentos estão em uso, 78 equipamentos estão fora de uso e uma média de 3 equipamentos por domicílio. Esse comportamento se explica pela necessidade de produtos eletrônicos de informática e telecomunicações para as mais diversas atividades cotidianas, além do mais, sua curta vida útil faz com que sejam substituídos com maior facilidade.

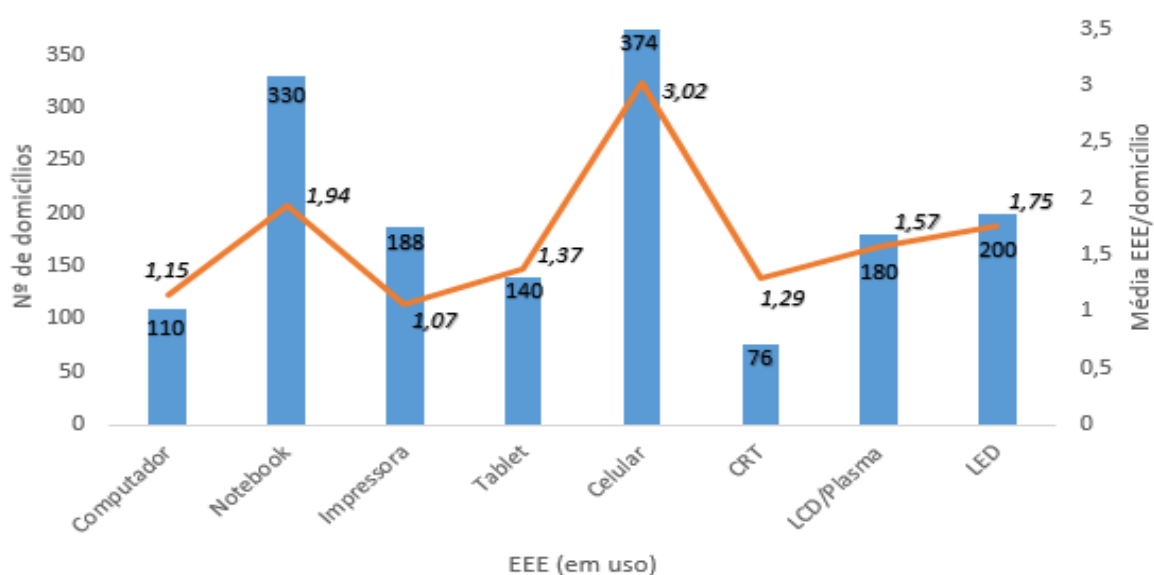
Com relação aos televisores, as TVs de LED são o equipamento com maior frequência de uso, já que se trata da tecnologia mais avançada entre as analisadas. Por sua vez, a TV CRT, também conhecida como TV tubão, aparece entre os televisores de maior frequência fora de uso, visto que se trata de uma tecnologia que se tornou obsoleta com a chegada da “era digital”.

Gráfico 5 - Estoque de EEE na área de estudo.

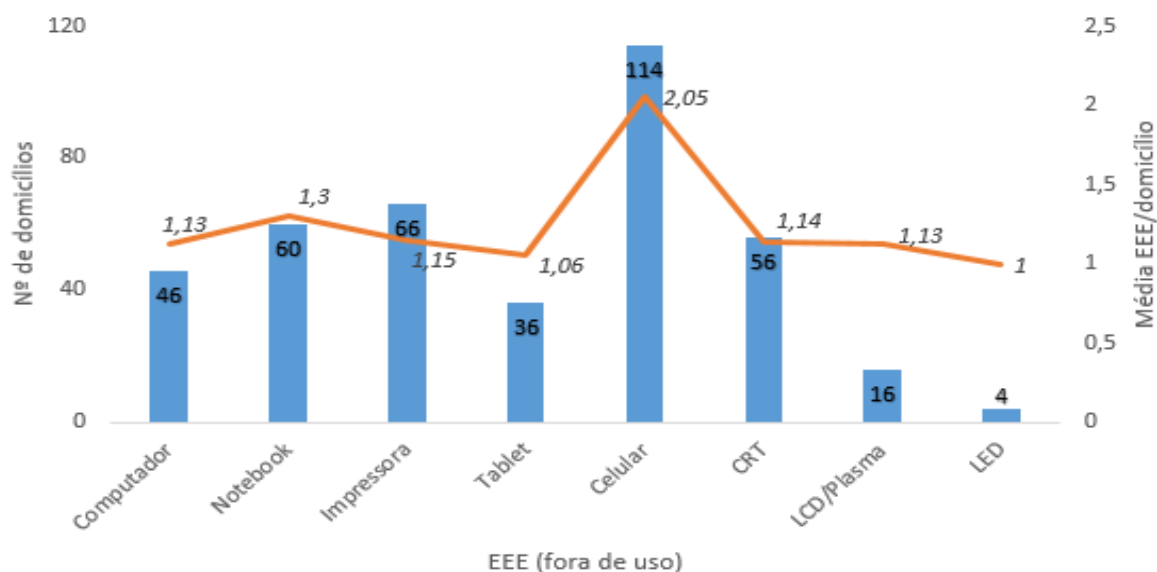
Fonte: O Autor (2019).

Gráfico 6 - Caracterização dos EEE por domicílio: em uso (a) e fora de uso (b).

(a)



(b)



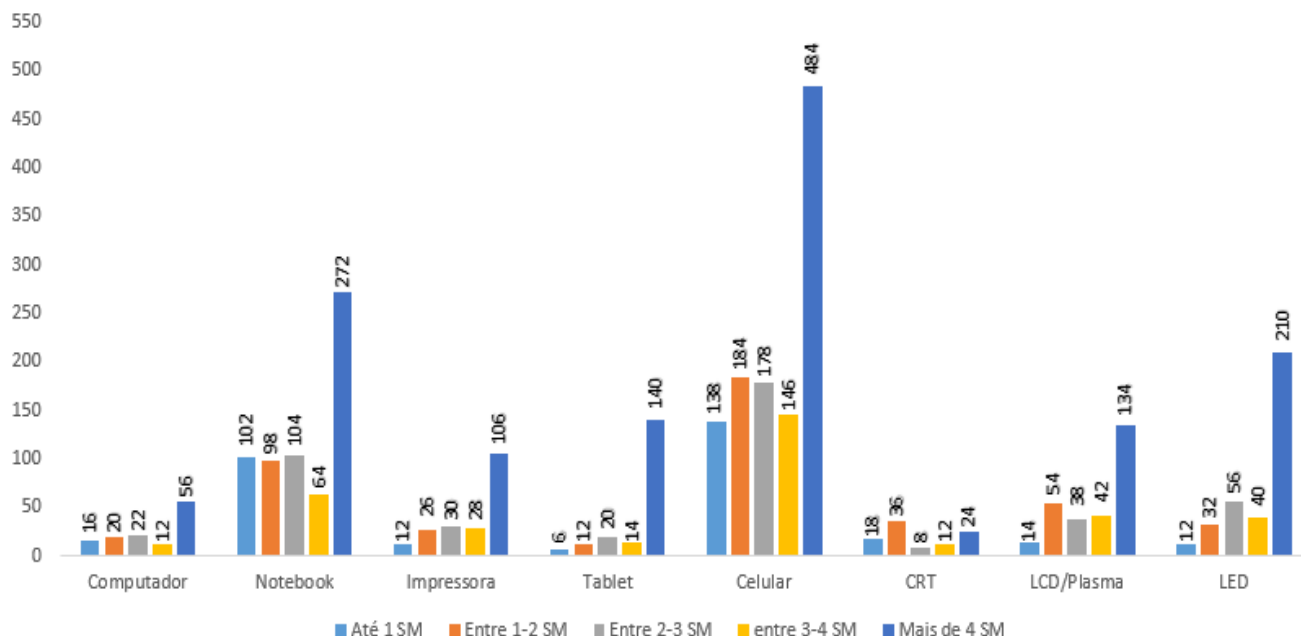
Fonte: O Autor (2019).

Para os EEE fora de uso, os entrevistados apontaram os principais motivos para o fim da vida útil dos equipamentos armazenados até o momento da entrevista, conforme Tabela 11. De acordo com os resultados, obsolescência (40%) e quebra (33%), são as duas principais razões para o fim da vida útil dos EEE. Em todas as categorias, o telefone celular aparece com a maior frequência. Alguns trabalhos (LI *et al.*, 2012; GUTIÉRREZ *et al.*, 2011) apontaram o mal funcionamento e a tecnologia obsoleta como principais razões para o descarte de produtos eletroeletrônicos.

Tabela 11 - Principais motivos do fim da vida útil dos EEE na área de estudo.

Equipamento	Falha técnica	Quebra	Equipamento ultrapassado	Inviabilidade de conserto	Total
Computador de mesa	2	10	38	2	52
Notebook	8	38	16	16	78
Impressora	22	24	14	16	76
Tablet	-	16	12	10	38
Telefone celular	26	74	106	28	234
TV CRT (tubão)	8	10	36	10	64
TV LCD/Plasma	4	10	4	-	18
TV LED	-	2	-	2	4
Total	70	184	226	84	564

Fonte: O Autor (2019).

Gráfico 7 - Quantidade de EEE por faixa de renda.

Fonte: O Autor (2019).

Com relação a quantidade de EEE por renda familiar (Gráfico 7 e Tabela 12), observa-se que o estoque de equipamentos acompanha o aumento da renda familiar. Famílias com renda mais baixa possuem, em média, 5 equipamentos eletroeletrônicos. Já nos domicílios com renda superior a quatro salários, o estoque de EEE sobe para 12. Desses, aproximadamente 10 estão em uso e os demais já atingiram o fim da vida útil.

Com exceção da TV CRT, a quantidade de equipamentos eletroeletrônicos presentes nos domicílios com renda maior que quatro salários mínimos, é muito superior quando comparada as demais faixas salariais. Isso pode ser explicado pelo fato de que 50% dos equipamentos levantados na pesquisa estarem presentes nesses domicílios, associado ao grande número de domicílios nessa faixa de renda familiar.

Os resultados de estoque médio de acordo com a renda familiar (Tabela 12) e o número de pessoas por domicílios (Tabela 13), serão utilizados para verificar a correlação entre as variáveis na seção 5.4.

Tabela 12 - Estoque de EEE de acordo com a renda familiar.

Renda	Estoque total	Estoque médio
Até 1 SM	352	5,00
Entre 1-2 SM	530	9,29
Entre 2-3 SM	524	9,28
Entre 3-4 SM	424	11,58
Mais de 4 SM	1754	11,65
Total	3584	-

Fonte: O Autor (2019).

Tabela 13 - Estoque de EEE de acordo com a número de pessoas nos domicílios.

Nº pessoas	Estoque total	Estoque médio
1	128	6,17
2	730	11,40
3	1046	14,06
4	932	19,86
5	564	26,21
Mais de 5	184	19,37
Total	3584	-

Fonte: O Autor (2019).

5.3.3 Potencial de geração de REEE

A estimativa de geração dos REEE foi realizada aplicando-se o Método de Aproximação Robinson, que leva em consideração o estoque de equipamentos, o peso médio de cada equipamento e sua vida útil. Os dados necessários para a aplicação do método foram obtidos a partir das entrevistas com os moradores dos bairros Maurício de Nassau e Universitário, em pesquisa na literatura e, em alguns casos, consulta de ficha técnica de alguns equipamentos.

A quantidade de equipamentos em uso e fora de uso foram obtidas na pesquisa. Os valores de vida útil basearam-se nos estudos de Robinson (2009) e Oguchi (2008), além dos valores levantados com a aplicação dos questionários. Os valores de peso médio dos equipamentos também tiveram como base os trabalhos de Robinson (2008) e Oguchi (2008), além dos valores fornecidos pela ABDI (2013), conforme Tabela 14.

Como nenhuma das referências utilizadas forneciam valores de peso médio para o *tablet* e a TV LED, foi realizado um levantamento entre as principais marcas comercializadas no Brasil. Em seguida, foram consultadas as fichas técnicas dos

equipamentos e calculado o peso médio dos equipamentos: *tablet* (0,5 kg) e TV LED (4,6 kg).

Tabela 14 - Tempo de vida útil e peso médio dos EEE.

Equipamento	Tempo de vida útil médio (ano)			Peso médio (kg/unidade)		
	Robinson (2009)	Oguchi (2008)	Pesquisa	Robinson (2009)	ABDI (2013)	Oguchi (2008)
Computador de mesa	3	6,6	4,5	25	24,3	15
Notebook	-	7,4	3,4	-	2,4	2,9
Impressora	-	7,1	3	-	6,3	5,6
Tablet	-	-	3,4	-	-	-
Telefone celular	2	4,3	2,7	0,1	0,1	0,1
TV CRT (tubão)	5	12	6,5	30	37,2	31
TV LCD/Plasma	-	7,2	5	-	12	8
TV LED	-	-	6	-	-	-

Fonte: O Autor (2019).

Levando em consideração a situação mais crítica, o potencial de geração dos REEE foi calculado para o menor valor de vida útil média e o maior valor de peso médio de cada equipamento, conforme a Tabela 15. Assim, a geração total estimada é de 4.978,25 kg/ano, com uma geração domiciliar de 13,10 kg/ano/domicílio. Considerando uma média de 3 pessoas por domicílio, a geração *per capita* é de 4,36 kg/hab/ano. Considerando o total de domicílios da área de estudo para o ano de 2019 (20.681), estima-se uma geração de 270.921,1 kg/ano de REEE.

Esse resultado de geração *per capita* está de acordo com as estimativas realizadas em diferentes cidades brasileiras. Em trabalho realizado em Fernando de Noronha – PE, Araujo *et al.* (2017) encontraram uma geração per capita de 4,54 kg/hab/ano. Rodrigues *et al.* (2015) estimaram uma geração per capita para o município de São Paulo de 4,80 kg/hab/ano. Por sua vez, em trabalho realizado no município de Belo Horizonte, Franco & Lange (2011) estimaram uma geração de 4,23 kg/hab/ano.

Os resultados da geração de REEE por renda familiar são apresentados nas Tabela 16. Observa-se que a geração total de REEE não acompanha o crescimento da renda familiar, pois nas famílias de renda mais baixa há uma menor quantidade de equipamentos, porém de maior peso individual, como é o caso da TV CRT. Embora

as famílias de renda mais alta possuem, em média, mais EEE nos domicílios, esses apresentam menor peso, como é o caso do telefone celular e das TV LED. Entretanto, quando se analisa a geração média, esses valores aumentam à medida que a renda familiar aumenta, como será mostrado através dos resultados de correlação na seção 5.4.

Outro fator importante é a geração de REEE a partir do número de pessoas por domicílio (PPD). Na Tabela 17, observa-se uma maior geração para as famílias com três pessoas, visto que foi a que apresentou maior frequência na pesquisa, com geração correspondente a 30% da geração total. O aumento da geração média não acompanhou o aumento na quantidade de pessoas nos domicílios, visto que, para os domicílios com mais de cinco pessoas, a geração média foi menor que a classe anterior, pois os domicílios com mais de cinco pessoas apresentaram a menor frequência entre todos.

Os valores de geração média para a faixa salarial e para o número de PPD foram utilizados no cálculo das correlações entre as variáveis. Essas correlações são apresentadas a seguir, na seção 5.4.

Tabela 15 - Potencial de geração de REEE na área de estudo.

Equipamento	Vida útil média (ano)	Peso médio (kg/unidade)	Geração (kg/ano)		
			Em uso	Fora de uso	Total
Computador de mesa	3	25	1050	433,33	1483,33
Notebook	3,4	2,9	545,88	66,53	612,41
Impressora	3	6,3	424,2	159,6	583,8
Tablet	3,4	0,5	28,24	5,59	33,83
Telefone celular	2	0,1	56,5	11,7	68,2
TV CRT (tubo)	5	37,2	729,12	476,16	1205,28
TV LCD/Plasma	5	12	676,8	43,2	720
TV LED	6	4,6	268,33	3,07	271,4
Total	-	-	3.779,07	1.199,08	4.978,25

Fonte: O Autor (2019).

Tabela 16 - Geração de REEE de acordo com a renda familiar.

Renda	Geração total (kg/ano)	Geração média por domicílio (kg/ano)
Até 1 SM	496,68	5,00
Entre 1-2 SM	848,85	9,29
Entre 2-3 SM	695,78	9,28
Entre 3-4 SM	644,34	11,58
Mais de 4 SM	2292,6	11,65
Total	4978,25	-

Fonte: O Autor (2019).

Tabela 17 - Geração de REEE de acordo com a número de PPD.

PPD	Geração total (kg/ano)	Geração média por domicílio (kg/ano)
1	190,9	6,17
2	1092,33	11,40
3	1484,45	14,06
4	1163,45	19,86
5	718,4	26,21
Mais de 5	328,72	19,37
Total	4978,25	-

Fonte: O Autor (2019).

5.4 Correlações entre resultados

Com o objetivo de verificar a existência de associação entre os indicadores sociais levantados na pesquisa e o comportamento dos moradores da área de estudo quanto aos REEE, foram realizadas correlações para os diferentes tipos de dados: qualitativos (teste qui-quadrado) e quantitativos (teste de correlação de Spearman).

A seguir, são apresentadas as tabelas de frequência observada para realização do teste Qui-Quadrado entre as seguintes variáveis: escolaridade x conhecimento prévio sobre os REEE, escolaridade x método de descarte dos REEE, renda familiar x método de descarte dos REEE e renda familiar x intenção de aquisição de um EEE reaproveitado, conforme as tabelas (Tabela 18 até Tabela 21).

Tabela 18 - Frequência observada entre escolaridade e conhecimento prévio sobre REEE.

Escolaridade	Conhecimento prévio sobre REEE		Total
	Não	Sim	
F. I	2	6	8
F.C	2	2	4
M.C	19	45	64
T.P	0	6	6
S.I	38	112	150
S.C	28	37	65
Pós	19	64	83
Total	108	272	380

Fonte: O Autor (2019).

Tabela 19 - Frequência observada entre escolaridade e método de descarte dos REEE adotado pelas famílias.

Escolaridade	Método de descarte dos REEE					Total
	Não-Seletivo	Seletivo	Venda	Doação	Guarda em casa	
F. I	4	0	0	4	0	8
F.C	0	0	0	2	2	4
M.C	14	12	6	11	21	64
T.P	0	0	0	0	6	6
S.I	28	18	14	35	55	150
S.C	8	8	4	14	31	65
Pós	12	6	0	30	35	83
Total	66	44	24	96	150	380

Fonte: O Autor (2019).

Tabela 20 - Frequência observada entre renda familiar e método de descarte dos REEE adotado pelas famílias.

Renda	Método de descarte dos REEE					Total
	Não-Seletivo	Seletivo	Venda	Doação	Guarda em casa	
Até 1 SM	10	2	6	14	26	58
Entre 1-2 SM	20	6	8	16	26	76
Entre 2-3 SM	8	10	6	6	28	58
Entre 3-4 SM	8	4	2	16	16	46
Mais de 4 SM	20	22	2	44	54	142
Total	66	44	24	96	150	380

Fonte: O Autor (2019).

Tabela 21 - Frequência observada entre renda familiar e intenção de aquisição de EEE reaproveitado.

Renda	Aquisição de EEE reaproveitado		Total
	Sim	Não	
Até 1 SM	52	6	58
Entre 1-2 SM	66	10	76
Entre 2-3 SM	42	16	58
Entre 3-4 SM	40	6	46
Mais de 4 SM	108	34	142
Total	308	72	380

Fonte: O Autor (2019).

Com relação a associação existente entre as variáveis escolaridade e método de descarte dos REEE e renda familiar e método de descarte dos REEE mostra que quanto maior a renda e/ou grau de instrução, maior a chance desses resíduos, ao atingir o fim da vida útil, ficarem armazenado nos domicílios ou continuar em circulação como “bens usados”. Por fim, foi verificada a existência de uma associação entre renda familiar e intenção na aquisição de EEE usados ou remanufaturados, onde o telefone celular foi o equipamento mais citado pelos entrevistados. Os resultados do teste de correlação Qui-Quadrado estão apresentados na Tabela 22.

Com base nessas informações, se faz necessário ampliar as ações no sentido de informar a população sobre os riscos ambientais e a saúde humana, assim como os benefícios da reciclagem dos REEE.

Tabela 22 - Resultados de correlação do Teste Qui-Quadrado.

Variáveis	X^2_{calc}	X^2_{tab}	Associação?	C	p-valor
Escolaridade x Conhecimento prévio sobre REEE	12,21	12,59	Não	-	-
Escolaridade x Método de descarte dos REEE	46,39	36,41	Sim	0,33	0,0043
Renda x Método de descarte dos REEE	35,23	26,3	Sim	0,29	0,0037
Renda x Intenção de aquisição de EEE usado ou remanufaturado	10,62	9,49	Sim	0,17	0,031

Fonte: O Autor (2019).

Com relação às variáveis quantitativas (renda familiar, número de pessoas por domicílio, quantidade de equipamentos EEE e geração de REEE), de início foi checada a normalidade de cada conjunto de dados através do teste de Kolmogorov-Smirnov, com confiança de 95%, e verificou-se que nenhuma delas apresentava

distribuição normal. Dessa forma, foi utilizado o teste de correlação de Spearman para verificar a existência de associação entre as mesmas. Nas Tabelas 23 e 24 são apresentados os resultados das correlações.

Todas as variáveis testadas apresentaram correlação considerável, visto que resultaram em altos valores de Rs acompanhados de valores significativos da probabilidade estatística de correlação ($p\text{-valor} < 0,05$).

Tabela 23 - Resultados do teste de correlação de Spearman.

Variáveis	Rs	t_0	t_{tab}	Correlação significativa?
PPD x Estoque de EEE por domicílio	0,6067	14,8382	1,96	Sim
PPD x Geração de REEE por domicílio	0,3216	6,6027	1,96	Sim
Renda familiar x Estoque de EEE por domicílio	0,5259	12,0223	1,96	Sim
Renda familiar x Geração de REEE por domicílio	0,2701	5,4534	1,96	Sim

Fonte: O Autor (2019).

Tabela 24 - Resultados do teste de correlação de Spearman para os valores médios de geração e estoque.

Variáveis	Rs	p-valor	Correlação significativa?
PPD x Estoque médio de EEE por domicílio	0,9856	0,0003	Sim
PPD x Geração média de REEE por domicílio	0,8986	0,0149	Sim
Renda familiar x Estoque médio de EEE por domicílio	0,9487	0,0138	Sim
Renda familiar x Geração média de REEE por domicílio	0,9487	0,0137	Sim

Fonte: O Autor (2019).

No geral, as análises das correlações entre os indicadores socioeconômicos com as variáveis ligadas aos REEE devem ser levadas em consideração no planejamento de estratégias de gerenciamento do lixo eletrônico na área de estudo. Diversos estudos (NNOROM *et al.*, 2009; GUTIÉRREZ *et al.*, 2011; SONG *et al.*, 2012; LI *et al.*, 2012; ARAUJO *et al.*, 2017) relatam a importância da análise de associação entre os hábitos de consumo de EEE e a geração de REEE, visto que as variáveis socioeconômicas e demográficas estão ligadas ao comportamento de reciclagem desses resíduos.

6 CONCLUSÕES

Identificação dos principais modelos de gestão de REEE adotados, considerando a produção de estudos técnicos e científicos, com ênfase na situação do Brasil

Os estudos técnicos e científicos apontam que os principais problemas das pesquisas desenvolvidas no país envolvem identificar as principais barreiras nos programas de logística reversa. Apesar dos avanços, ainda não há acordo setorial entre os fabricantes de equipamentos eletroeletrônicos e o poder público para a implantação em curto prazo de programas de logística reversa e destinação adequada dos REEE.

Diagnóstico dos hábitos de consumo e de descarte de produtos eletroeletrônicos dos moradores da área estudada

Mais de 96% dos entrevistados consideram a separação dos REEE nas residências um importante passo, principalmente no que diz respeito a redução dos impactos ambientais provocados pelo descarte inadequado.

Com relação aos métodos de destinação adotados pelas famílias, apenas 12% realizam o descarte adequado dos seus REEE. O alto índice de pessoas que armazenam seu lixo eletrônico em casa (40%), que doam (6%) ou vendem (24%), mostra uma necessidade de ampliação e reforço dos programas de educação ambiental, para que se realizem estratégias de gerenciamento de lixo eletrônico mais adequadas e efetivas.

Entre os 380 entrevistados, 308 responderam estar dispostos a comprar um EEE que reaproveitado/reciclado, principalmente telefone celular, desde que seja garantida sua durabilidade.

Considerando o quantitativo de EEE levantados, foi contabilizado um total de 3.584 equipamentos, dos quais 84% estão em uso e 16% estão armazenados. Com relação a tipologia, o telefone celular foi o equipamento mais frequente nos domicílios (38%), seguido do notebook (20%). Estima-se que cada domicílio possua, em média, 3 celulares em uso e 2 armazenados.

Estimativa da geração de REEE

A partir do método de Aproximação de Robinson, foi estimado um potencial de 5 toneladas de REEE para serem geradas no período de um ano (2019-2020). Em

termos de geração domiciliar e geração *per capita*, os valores estimados são de 13,10 kg/domicílio/ano e 4,36 kg/hab/ano, respectivamente. Esse valor é compatível com a geração de outros municípios brasileiros, como São Paulo e Minas Gerais.

Correlações entre a quantidade de EEE, a geração de REEE e os indicadores sociais

As associações verificadas do estoque de EEE e da geração de REEE com a renda familiar reforçam a ideia de que os hábitos de consumo de produtos eletrônicos e geração de lixo eletrônico aumenta à medida que aumenta a renda familiar. Entretanto, a renda familiar não pode ser o único fator considerado nesse planejamento, visto que foi verificada uma associação significativa da quantidade de pessoas por domicílio com o estoque de EEE e, conseqüentemente, com a geração de REEE.

Além das correlações supracitadas, foi constatada, a existência de uma associação entre alguns indicadores sociais e o comportamento dos entrevistados com relação aos REEE, tais como: o grau de instrução dos entrevistados e o método de descarte adotado pelas famílias, a renda familiar e o método de descarte adotado pelas famílias e a renda familiar com a intenção de adquirir um produto eletrônico reaproveitado. Famílias de renda mais alta, e que, no geral, são formadas por pessoas com maior grau de instrução, o método de descarte adotado é armazenar os REEE em casa. Além do mais, essas pessoas se mostraram dispostas a adquirir produtos eletrônicos reaproveitados.

Após oito anos de promulgação do PNRS, ainda não há acordo entre a produção de documentos (estudos científicos e legislação específica) e a execução de ações de grande alcance voltadas à implementação de sistemas de logística reversa para equipamentos eletroeletrônicos.

Para enfrentar os desafios relevantes e aumentar a probabilidade de avanços na gestão de REEE, as ações futuras devem incluir: (i) o envolvimento de cooperativas e associações na coleta seletiva formal; (ii) a assinatura de contratos de logística reversa; (iii) estímulo à indústria de reciclagem de lixo eletrônico no Brasil, para que possa empreender todas as etapas do processo; e (iv) a promoção do conhecimento e a delimitação do mercado de importação de lixo eletrônico.

REFERÊNCIAS

ABBAS, Z. **E-waste management in Pakistan**. In *Regional Workshop on E-waste/WEEE Management, Osaka, Japan* (pp. 6-9), 2010.

ABDI. **Gestão de REEE no Brasil: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica**. Abdi, 2013.

ABINEE (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA). **Desempenho Setorial**. 2017. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/abinee/decon/decon15.htm>>. Acesso em: 22.10.2018

ABNT, **NBR 10004** - Dispõe sobre a classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos, p. 19, 2004.

AFROZ, R., MASUD, M. M., AKHTAR, R., & DUASA, J. B. **Survey and analysis of public knowledge, awareness and willingness to pay in Kuala Lumpur, Malaysia- a case study on household WEEE management**. Journal of Cleaner Production, v. 52, p. 185–193, 2013.

ALAVI, N., SHIRMARDI, M., BABAEI, A., TAKDASTAN, A., & BAGHERI, N. **Waste electrical and electronic equipment (WEEE) estimation: A case study of Ahvaz City, Iran**. Journal of the Air and Waste Management Association, v. 65, n. 3, p. 298–305, 2015.

ARAUJO, A. M. M.; MAHLER, C. F. **Recycling of Waste Electrical and Electronic Equipment, a Case Study: Brazil**. Global Risk-Based Management of Chemical Additives I: Production, Usage and Environmental Occurrence, August 2011, p. 161–186, 2009.

ARAUJO, D. R. R., DE OLIVEIRA, J. D., SELVA, V. F., SILVA, M. M., & SANTOS, S. M. **Generation of domestic waste electrical and electronic equipment on Fernando de Noronha Island: qualitative and quantitative aspects**. Environmental Science and Pollution Research, v. 24, n. 24, p. 19703–19713, 2017.

ARAÚJO, M. G., MAGRINI, A., MAHLER, C. F., & BILITEWSKI, B. **A model for estimation of potential generation of waste electrical and electronic equipment**

in Brazil. Waste Management, v. 32, n. 2, p. 335–342, 2012.

AWASTHI, A., ZENG, X., LI, J. **Environmental pollution of electronic waste recycling in India: A critical review.** Environmental Pollution, v. 211, p. 259–270, 2016.

AZEVEDO, L. P., DA SILVA ARAÚJO, F. G., LAGARINHOS, C. A. F., TENÓRIO, J. A. S., & ESPINOSA, D. C. R. **E-waste management and sustainability: a case study in Brazil.** Environmental Science and Pollution Research, v. 24, n. 32, p. 25221–25232, 2017.

BALDÉ, C. P., FORTI, V., GRAY, V., KUEHR, R., STEGMANN, P. **The Global E-waste Monitor – 2017, United Nations University (UNU),** International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna, 2017.

BARBA-GUTIERREZ Y, ADENSO-DIAZ B, H. M. **An analysis of some environmental consequences of European electrical and electronic waste regulation.** Resources, Conservation and Recycling, v. 152, p. 481–495, 2008.

BETTS, K. **Producing usable materials from e-waste.** Environmental Science & Technology, v. 42, p. 6782–6783, 2008.

BRASIL. **Decreto No 875, 19 de Julho de 1993.** Promulga o texto da Convenção sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito. Brasil, 1993. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D0875.htm>. Acesso em: 25.03.2019

BRASIL. **Lei No. 12.187, 29 de Dezembro de 2009,** Estabelece a Política Nacional Sobre Mudança do Clima. Brasil, 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm>. Acesso em: 22.10.2018

BRASIL. **Decreto No 7.404, 23 de Dezembro de 2010.** Política Nacional de Resíduos Sólidos. BRASIL, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm>. Acesso em: 22.10.2018

CARUARU. **REVISÃO DO PLANO DE SANEAMENTO BÁSICO SETORIAL PARA A LIMPEZA URBANA E O MANEJO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO MUNICÍPIO DE CARUARU**. Prefeitura Municipal de Caruaru. Equipe Técnica de Projetos Ambientais, 2017.

_____. **Relatório quantitativo de imóveis por bairro**. Prefeitura Municipal de Caruaru, Secretaria da Fazenda, 2017.

BRASIL. **Lei No. 12.305, 02 de Agosto de 2010 – Estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Altera a Lei No. 9.605, de 12 de Fevereiro de 1998; e dá outras Providências**. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 23.10.2018.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Introdução à inferência estatística**. In: SARAIVA, E. (Ed.). Estatística Básica. 5ª ed. São Paulo. p. 281.

CAMPOLINA, J. M., SIGRIST, C. S. L., DE PAIVA, J. M. F., NUNES, A. O., & DA SILVA MORIS, V. A. **A study on the environmental aspects of WEEE plastic recycling in a Brazilian company**. International Journal of Life Cycle Assessment, v. 22, n. 12, p. 1957–1968, 2017.

CAROLINA, M.; SANTOS, D. M. **O tratamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos na política nacional de resíduos sólidos** The treatment of electronic waste on the national solid waste policy. REDES - Revista Eletrônica de Direito e Sociedade, v. 4, n. 2011, 2016.

CHANCEREL, P., MESKERS, C. E., HAGELÜKEN, C., & ROTTER, V. S. **Assessment of Precious Metal Flows During Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment**. Journal of Industrial Ecology, v. 13, p. 791–810, 2009.

CHEN, A., DIETRICH, K.N., HUO, X., HO, S. **Developmental neurotoxins in e-waste: an emerging health concern**. Environmental Health Perspectives, v. 119, p. 431–438, 2011.

CHEN, C. **The CiteSpace Manual**. Drexel University. Disponível em: <<http://cluster.ischool.drexel.edu/~cchen/citespace/CiteSpaceManual.pdf%0ALast>>.

CHEN, K.; GUAN, J. **A bibliometric investigation of research performance in emerging nanobiopharmaceuticals.** Journal of Informetrics, v. 5, n. 2, p. 233–247, 2011.

CHENG, Z., WANG, Y., WANG, S., ZHANG, G. **The influence of land use on the concentration and vertical distribution of PBDEs in soils of an e-waste recycling region of South China.** Environmental Pollution, v. 191, p. 126–131, 2014.

CHUNG, S. S.; LAU, K. Y.; ZHANG, C. **Generation of and control measures for, e-waste in Hong Kong.** Waste Management, v. 31, n. 3, p. 544–554, 2011.

COBBING, M. **Toxic Tech: Not in Our Backyard. Uncovering the Hidden Flows of e-waste.** Amsterdam. Disponível em:

<<http://www.greenpeace.org/raw/content/Belgium/fr/press/rports/toxic-tech.pdf>>.

Acesso em: 15.11.2018

DAMASCENO, O. I., REIS, C. R., EFRAIM, L., BELLATO, C. R., & OLIVEIRA, A. F. D. **Modelling of lead migration from electronic waste to mixtures of kaolinite, iron oxides and organic matter.** Journal of the Brazilian Chemical Society, v. 27, n. 5, p. 877–883, 2016.

DE SOUSA JABBOUR, A. B. L., JABBOUR, C. J. C., SARKIS, J., & GOVINDAN, K. **Brazil's new national policy on solid waste : challenges and opportunities.** Clean Technologies and Environmental Policy, v. 16, p. 7–9, 2014.

DEMAJOROVIC, J.; AUGUSTO, E. E. F.; SOUZA, M. T. S. DE. **Reverse Logistics of E-Waste in Developing Countries: Challenges and Prospects for the Brazilian Model.** Ambiente & Sociedade, v. 19, n. 2, p. 117–136, 2016.

DENG, W. J., GIESY, J. P., SO, C. S., & ZHENG, H. L. **End-of-life (EoL) mobile phone management in Hong Kong households.** Journal of Environmental Management, v. 200, p. 22–28, 2017.

DIAS, P.; DE OLIVEIRA, E.; VEIT, H. **Lead hazard evaluation for cathode ray tube monitors in Brazil.** Brazilian Journal of Chemical Engineering, v. 35, n. 1, p. 43–49, 2018.

DIAS, P.; MACHADO, A.; HUDA, N. **Waste electric and electronic equipment (WEEE) management: A study on the Brazilian recycling routes**. Journal of Cleaner Production, v. 174, p. 7–16, 2018.

DRISCOLL A, S. W. **Poverty or poison: China's dire choice in an electronic world**. USAID/Asia, 2010.

EEA. **Waste from electrical and electronic equipment (WEEE) - quantities, dangerous substances and treatment methods**. European Environment Agency. Copenhagen, 2003.

FRANCO, R. G. F.; LANGE, L. C. **Estimativa fluxo REEE em BH**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 16, n. 1, p. 73–82, 2011.

FU, J., ZHOU, Q., LIU, J., LIU, W., WANG, T., Z.; Q., JIANG, G. **High levels of heavy metals in rice (*Oryza sativa* L.) from a typical E-waste recycling area in Southeast China and its potential risk to human health**. Chemosphere, v. 71, 2008.

GARLAPATI, V. K. **E-waste in India and developed countries: Management, recycling, business and biotechnological initiatives**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 54, p. 874–881, 2016.

GHISOLFI, V., CHAVES, G. D. L. D., SIMAN, R. R., & XAVIER, L. H. **System dynamics applied to closed loop supply chains of desktops and laptops in Brazil: A perspective for social inclusion of waste pickers**. Waste Management, v. 60, p. 14–31, 2017.

GHOSH, S. K., DEBNATH, B., BAIDYA, R., DE, D., LI, J., GHOSH, S. K., ... & TAVARES, A. N. **Waste electrical and electronic equipment management and Basel Convention compliance in Brazil, Russia, India, China and South Africa (BRICS) nations**. Waste Management & Research, p. 1–15, 2016.

GLOBO. **Venda de celulares usados cresce no Brasil; em 2018 foram quase 700 mil aparelhos**. 2017. Disponível em: <<https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2019/06/01/venda-de-celulares-usados-cresce-no-brasil-em-2018-foram-quase-700-mil-aparelhos.ghtml>>. Acesso em: 02.06.19.

GRANATO, D.; KATAYAMA, F. C. U.; DE CASTRO, I. A. **Phenolic composition of South American red wines classified according to their antioxidant activity, retail price and sensory quality.** Food Chemistry, v. 129, n. 2, p. 366–373, 2011.

GUTIERRÉZ, E. et al. **Lifetime of household appliances: empirical evidence of user's behaviour.** Waste Manage, v. 6, p. 622–633, 2011.

HA, N., AGUSA, T., RAMU, K., TU, N.P.C., M.; S., BULBULE, K.A., PARTHASARATHY, P., T.; S., SUBRAMANIAN, A., TANABE, S. **Contamination by trace elements at e-waste recycling sites in Bangalores, India.** Chemosphere, v. 76, p. 9–15, 2009.

HIRAYAMA, D.; SARON, C. **Characterisation of recycled acrylonitrile-butadiene-styrene and high-impact polystyrene from waste computer equipment in Brazil.** Waste Management and Research, v. 33, n. 6, p. 543–549, 2015.

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

IBGE. Censo Demográfico 2010. **Características da População e dos Domicílios.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, p. 270, 2010.

ISO. **ISO 14040: 2006. Environmental management – life cycle assessment – principles and framework.** 2006.

KIDDEE, P.; NAIDU, R.; WONG, M. H. **Electronic waste management approaches: An overview.** Waste Management, v. 33, n. 5, p. 1237–1250, 2013.

KILIC, H. S.; CEBECI, U.; AYHAN, M. B. **Reverse logistics system design for the waste of electrical and electronic equipment (WEEE) in Turkey.** Resources, Conservation and Recycling, v. 95, p. 120–132, 2015.

LAU, W. K. Y.; CHUNG, S. S.; ZHANG, C. **A material flow analysis on current electrical and electronic waste disposal from Hong Kong households.** Waste Management, v. 33, n. 3, p. 714–721, 2013.

LI, J., DUAN, H., SHI, P. **Heavy metal contamination of surface soil in electronic waste dismantling area: site investigation and source-apportionment analysis.**

Waste Management & Research, 29, v. 7, p. 727–738, 2011.

LI, J., LIU, L., REN, J., DUAN, H., & ZHENG, L. **Behavior of urban residents toward the discarding of waste electrical and electronic equipment: a case study in Baoding, China.** Waste Manage, v. 11, p. 1187–1197, 2012.

LUNDGREN, K. **The global impact of e-waste: Addressing the challenge.** 2012.

MIOT, H. A. **Tamanho da amostra em estudos clínicos e experimentais.** Jornal Vascular Brasileiro, v. 10, n. 4, p. 275–278, 2011.

MOURA, J. M. B. M., PINHEIRO, I. G., LISCHESKI, D., & VALLE, J. A. B. **Relation of Brazilian institutional users and technical assistances with electronics and their waste: What has changed?** Resources, Conservation and Recycling, v. 127, n. August, p. 68–75, 2017.

MOURA, J. M. B. M.; PINHEIRO, I. G.; CARMO, J. L. **Gravimetric composition of the rejects coming from the segregation process of the municipal recyclable wastes.** Waste Management, v. 74, p. 98–109, 2018.

NATUME, R. Y., SANT'ANNA, F. S. P. **Resíduos eletreoeletrônicos: um desafio para o desenvolvimento sustentável e a nova lei da política nacional de resíduos sólidos.** In: 3º INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION 2011.

NETO, J. C.; SILVA, M. M.; SANTOS, S. M. **A time series model for estimating the generation of lead acid battery scrap.** Clean Technologies and Environmental Policy, v. 18, n. 6, p. 1931–1943, 2016.

OHAJINWA, C., VAN BODEGOM, P., VIJVER, M., & PEIJNENBURG, W. **Health risks awareness of electronic waste workers in the informal sector in Nigeria.** International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 14, n. 8, 2017.

OLIVEIRA, J. D.; SELVA, VANICE; PIMENTEL, R.M.; SANTOS, S. M. **Resíduos Eletroeletrônicos: Geração, Impactos Ambientais e Gerenciamento (Electronic Waste: Generation, Environmental Impacts and Management).** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 10, p. 1655–1667, 2017.

DE OLIVEIRA, C. R. ; BERNARDES, A. M.; GERBASE, A. E. **Collection and recycling of electronic scrap: A worldwide overview and comparison with the Brazilian situation.** Waste Management, v. 32, n. 8, p. 1592–1610, 2012.

OLIVEIRA NETO, G. C. D., RUIZ, M. S., CORREIA, A. J. C., & MENDES, H. M. R. **Environmental advantages of the reverse logistics : a case study in the batteries collection in Brazil.** Production, v. 28, n. 12, 2018.

OLIVEIRA NETO, G. C.; JESUS CARDOSO CORREIA, A.; SCHROEDER, A. M. **Economic and environmental assessment of recycling and reuse of electronic waste: Multiple case studies in Brazil and Switzerland.** Resources, Conservation and Recycling, v. 127, n. August, p. 42–55, 2017.

ONGONDO, F. O.; WILLIAMS, I. D. **Mobile phone collection, reuse and recycling in the UK.** Waste Management, v. 31, n. 6, p. 1307–1315, 2011.

ONGONDO, F. O.; WILLIAMS, I. D.; CHERRETT, T. J. **How are WEEE doing ? A global review of the management of electrical and electronic wastes.** Waste Management, v. 31, n. 4, p. 714–730, 2011.

PAES, C. E., BERNARDO, M., DA SILVA LIMA, R., & LEAL, F. **Management of Waste Electrical and Electronic Equipment in Brazilian Public Education Institutions: Implementation Through Action Research on a University Campus.** Systemic Practice and Action Research, v. 30, n. 4, p. 377–393, 2017.

PÉREZ-BELIS, V.; BOVEA, M. D.; SIMÓ, A. **Consumer behaviour and environmental education in the field of waste electrical and electronic toys: A Spanish case study.** Waste Management, v. 36, p. 277–288, 2015.

PONTES, A. C. F. **Ensino da Correlação de Postos no Ensino Médio. 19° Sinape,** 2010. Disponível em:
<<http://www.ime.unicamp.br/sinape/sites/default/files/EnsinoCorrelacaoDePostos.pdf>
>. Acesso em: 21.08.2018.

ROBINSON, B. H. **E-waste: An assessment of global production and environmental impacts.** Science of the Total Environment, v. 408, n. 2, p. 183–191, 2009.

RODRIGUES, A. C. **Impactos Socioambientais dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos: estudo da cadeia pós-consumo no Brasil**. 2007. UNIMEP, Santa Bárbara D' Oeste, 2007.

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 Sanitaria e Ambiental, v. 20, n. 3, p. 437–447, 2015.

RUBIN, R. S., DE CASTRO, M. A. S., BRANDÃO, D., SCHALCH, V., & OMETTO, A. R. **Utilization of Life Cycle Assessment methodology to compare two strategies for recovery of copper from printed circuit board scrap**. Journal of Cleaner Production, v. 64, p. 297–305, 2014.

SAPHORES, J. D. M.; OGUNSEITAN, O. A.; SHAPIRO, A. A. **Willingness to engage in a pro-environmental behavior: An analysis of e-waste recycling based on a national survey of U.S. households**. Resources, Conservation and Recycling, v. 60, p. 49–63, 2012.

SCHLUEP, M., & PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT **Recycling – From E- Waste To Resources**. United Nations Environment Programme & United Nations University, p. 120, 2009.

SCHLUEP, M., MÜLLER, E., OTT, D., & ROCHAT, D. **e-Waste Assessment Methodology-Training & Reference Manual**. Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (*Empa*), Switzerland, 2012.

SCUR, G.; BARBOSA, M. E. **Green supply chain management practices: Multiple case studies in the Brazilian home appliance industry**. Journal of Cleaner Production, v. 141, p. 1293–1302, 2017.

SIGRIST, C. S. L., FONSECA, L. F. B., PAIVA, J. M. F., MENDES, J. V., & MORIS, V. A. S. **Desenvolvimento de ponto de coleta de resíduos eletroeletrônicos**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 19, n. 2, p. 1423–1438, 2015.

SONG, Q.; WANG, Z.; LI, J. **Residents' behaviours, attitudes and willingness to**

pay for recycling e-waste in Macau. Journal of Environmental Management, v. 106, p. 8–16, 2012.

STHIANNOPKAO, S.; WONG, M. H. **Handling e-waste in developed and developing countries: Initiatives, practices, and consequences.** Science of the Total Environment, v. 463–464, p. 1147–1153, 2013.

TRIOLA, M. F. . **Correlação de Postos.** In: PEARSON EDUCATION (Ed.). Introdução à Estatística. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. p. 566–570.

UE. **Diretiva 2012/19/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de julho de 2012, relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos (REEE). relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos (REEE).** Jornal Oficial da União Europeia, 2012. Seção 6, p. 38–71. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu>>. Acesso em: 15.04.2018.

UMAIR, S., BJÖRKLUND, A., PETERSEN, E. **Social impact assessment of informal recycling of electronic ICT waste in Pakistan using UNEP SETAC guidelines.** Resources, Conservation and Recycling, v. 95, p. 46–57, 2015.

UNEP. **E-waste Volume I: Inventory Assessment Manual.** United Nations Environment Programme, p. 127, 2007. Disponível em: <www.unep.org>

UNEP. **Developing Integrated Solid Waste Management Plan: Training Manual.** United Nations Environment Programme, v. 3, p. 48, 2009.

VEIT, H. M.; JUCHNESKI, N. C. de F.; SCHERER, J. **Use of gravity separation in metals concentration from printed circuit board scraps.** Rem: Revista Escola de Minas, v. 67, n. 1, p. 73–79, 2014.

WANG, X., MILLER, G. DING, G., LOU, X., CAI, D.; CHEN, Z., MENG, J., TANG, J., CHU, C., MO, Z.; HAN, J. **Health risk assessment of lead for children in tinfoil manufacturing and e-waste recycling areas of Zhejiang Province, China.** Science of the Total Environment, v. 426, p. 106–112, 2012.

WANG, F. et al. **Enhancing e-waste estimates: Improving data quality by multivariate Input-Output Analysis.** Waste Management, v. 33, n. 11, p. 2397–2407,

2013.

WEI, L., LIU, Y. **Present status of e-waste disposal and recycling in China.** Procedia Environmental Sciences, v. 16, p. 506–514, 2012.

WEISS, F. T., LEUZINGER, M., ZURBRÜGG, C., & EGGEN, H. I. **Chemical Pollution in Low- and Middle-Income Countries.** Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland, 2016.

WIDMER, R., OSWALD-KRAPF, H., SINHA-KHETRIWAL, D., SCHNELLMANN, M., & BÖNI, H. **Global perspectives on e-waste.** Environmental Impact Assessment Review, v. 25, n. 5 SPEC. ISS., p. 436–458, 2005.

WONG, C., DUZGOREN-AYDIN, N., AYDIN, A., W.; M.H. **Evidence of excessive releases of metals from primitive e-waste processing in Guiyu, China.** Environmental Pollution, v. 148, p. 62–72, 2007.

ZHENG, L., WU, K., LI, Y., QI, Z., HAN, D., Z.; B., GU, C., CHEN, G., LIU, J., CHEN, S., XU, X.; HUO, X. **Blood lead and cadmium levels and relevant factors among children from an ewaste recycling town in China.** Environmental Research, v. 108, p. 15–20, 2008.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO

Este Questionário enquadra-se numa investigação no âmbito de uma dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, realizada na Universidade Federal de Pernambuco – CAA. Os resultados obtidos serão utilizados apenas para fins académicos.

O questionário é anónimo, não devendo por isso colocar sua identificação ou assinar em nenhuma das folhas.

Não existem respostas certas ou erradas. Por isso lhe solicito que responda de forma espontânea e sincera todas as perguntas.

Obrigado pela colaboração.

1. Bairro: ☐ Maurício de Nassau ☐ Outro: _____															
2. Género: ☐ Masculino ☐ Feminino ☐ Outro															
3. Faixa Etária: ☐ 0 – 18 ☐ 19 – 30 ☐ 31 – 40 ☐ 41 – 50 ☐ > 50															
4. Quantas pessoas moram neste domicílio? ☐ Uma ☐ Duas ☐ Três ☐ Quatro ☐ Cinco ☐ Mais de cinco															
5. Renda Familiar: Salário Mínimo (SM) = R\$ 954,00 ☐ < 1 SM ☐ entre 1-2 SM ☐ entre 2-3 SM ☐ entre 3-4 SM ☐ > 4 SM															
6. Escolaridade: (do entrevistado) ☐ Ensino Fundamental incompleto ☐ Ensino Fundamental completo ☐ Ensino Médio incompleto ☐ Ensino Médio Completo ☐ Ensino Técnico profissionalizante ☐ Ensino Superior Incompleto ☐ Ensino Superior completo ☐ Pós-graduação															
7. Atualmente, quantos dos seguintes equipamentos estão sendo USADOS em sua casa? (Considerar todos os moradores do domicílio)															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Equipamento</th> <th>Quantidade em uso</th> <th>Há quanto tempo usa o(s) equipamento(s)?</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Computador de mesa</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Notebook</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Impressora</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tablet</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Equipamento	Quantidade em uso	Há quanto tempo usa o(s) equipamento(s)?	Computador de mesa			Notebook			Impressora			Tablet		
Equipamento	Quantidade em uso	Há quanto tempo usa o(s) equipamento(s)?													
Computador de mesa															
Notebook															
Impressora															
Tablet															

	Telefone celular		
	TV CRT (tubão)		
	TV LCD/Plasma		
	TV LED		

8. Atualmente, quantos dos seguintes equipamentos estão FORA DE USO (ARMAZENADOS) em sua casa? (Considerar todos os moradores do domicílio)

Equipamento	Quantidade fora de uso	Por quanto tempo usou o(s) equipamento(s)?
Computador de mesa		
Notebook		
Impressora		
Tablet		
Telefone celular		
TV CRT (tubão)		
TV LCD/Plasma		
TV LED		

9. Para os equipamentos FORA DE USO (ARMAZENADOS) em sua casa, qual o motivo do fim da vida útil? (De acordo com o quantitativo da questão anterior).

Equipamento	Falha técnica	Quebra	Equipamento ultrapassado	Inviabilidade de conserto
Computador de mesa				
Notebook				
Impressora				
Tablet				
Telefone celular				
TV CRT (tubão)				
TV LCD/Plasma				
TV LED				

10. Qual o método adotado pela família para destinação do lixo eletrônico?

☐ Descarte não seletivo
 ☐ Descarte seletivo
 ☐ Guarda em casa

☐ Venda	☐ Doação
--------------------------------	---------------------------------

11. Antes desta entrevista você já teve conhecimento do que são resíduos eletroeletrônicos e como devem ser descartados, tratados e dispostos adequadamente?

☐ Sim ☐ Não

Se sim, onde?

☐ Tv, jornal, revistas ou rádio ☐ Internet ☐ Outros: _____

12. Você acha importante que a separação do lixo eletrônico seja realizada nos domicílios?

☐ Sim ☐ Não

Motivos: *(Pode mais de uma)*

☐ Acho difícil de separar e ocupa muito espaço.

☐ A empresa de serviço de coleta domiciliar que deve fazer essa separação.

☐ Acredito que a separação do lixo eletrônico dos demais ajuda a reduzir os impactos ambientais.

☐ Meu comportamento de separar o lixo eletrônico poderá ter efeito educacional nos demais membros da minha família e nas pessoas da comunidade.

☐ Outros: _____

13. Entre os fatores citados abaixo, qual te incentivaria a participar de um programa de coleta seletiva de lixo eletrônico? *(Pode mais de uma)*

☐ Preocupação com o meio ambiente.

☐ Facilidade de acesso ao local de descarte.

☐ Recompensa financeira

14. Você compraria um produto eletrônico usado ou reciclado? *(Pode mais de uma)*

☐ Sim, se o preço fosse consideravelmente menor que o do novo.

☐ Sim, se comprovado o desempenho e durabilidade do produto.

☐ Sim, mas só para certos produtos. Exemplifique _____

☐ Não, pois a durabilidade e desempenho do produto são duvidosos.

☐ Não, pois a tecnologia, estilo e funcionalidade de produtos usados ou reciclados podem não atender minhas necessidades.

ANEXO A - VALORES CRÍTICOS PARA O TESTE T DE STUDENT

g.l.	p									
	0,80	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001
1	0,325	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	127,321	318,309	636,619
2	0,289	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	14,089	22,327	31,599
3	0,277	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,215	12,924
4	0,271	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,610
5	0,267	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,893	6,869
6	0,265	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	0,263	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408
8	0,262	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	0,261	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	3,690	4,297	4,781
10	0,260	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	0,260	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	0,259	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,930	4,318
13	0,259	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,372	3,852	4,221
14	0,258	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,140
15	0,258	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,286	3,733	4,073
16	0,258	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,252	3,686	4,015
17	0,257	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,222	3,646	3,965
18	0,257	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,197	3,610	3,922
19	0,257	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,174	3,579	3,883
20	0,257	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,153	3,552	3,850
21	0,257	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,135	3,527	3,819
22	0,256	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,119	3,505	3,792
23	0,256	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,104	3,485	3,768
24	0,256	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,091	3,467	3,745
25	0,256	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,078	3,450	3,725
26	0,256	0,684	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,067	3,435	3,707
27	0,256	0,684	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,057	3,421	3,690
28	0,256	0,683	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,047	3,408	3,674
29	0,256	0,683	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,038	3,396	3,659
30	0,256	0,683	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,030	3,385	3,646
40	0,255	0,681	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	2,971	3,307	3,551
50	0,255	0,679	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678	2,937	3,261	3,496
60	0,254	0,679	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	2,915	3,232	3,460
70	0,254	0,678	1,294	1,667	1,994	2,381	2,648	2,899	3,211	3,435
80	0,254	0,678	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639	2,887	3,195	3,416
90	0,254	0,677	1,291	1,662	1,987	2,368	2,632	2,878	3,183	3,402
120	0,254	0,677	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	2,860	3,160	3,373
∞	0,253	0,675	1,282	1,645	1,960	2,327	2,577	2,808	3,092	3,292

NOTA: g.l. - graus de liberdade

ANEXO B – VALORES CRÍTICOS PARA O TESTE DE QUI-QUADRADO

gl	0,995	0,990	0,975	0,950	0,900	0,500	0,100	0,050	0,025	0,010	0,005
1	0,000	0,000	0,001	0,004	0,016	0,455	2,706	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,010	0,020	0,051	0,103	0,211	1,386	4,605	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,072	0,115	0,216	0,352	0,584	2,366	6,251	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,064	3,357	7,779	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	1,610	4,351	9,236	11,070	12,833	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	2,204	5,348	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	2,833	6,346	12,017	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	3,490	7,344	13,362	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	4,168	8,343	14,684	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	4,865	9,342	15,987	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	5,578	10,341	17,275	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	6,304	11,340	18,549	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	7,042	12,340	19,812	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	7,790	13,339	21,064	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	8,547	14,339	22,307	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	9,312	15,338	23,542	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	10,085	16,338	24,789	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	10,865	17,338	25,989	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	11,651	18,338	27,204	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	12,443	19,337	28,412	31,410	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	13,240	20,337	29,615	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	14,041	21,337	30,813	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	14,848	22,337	32,007	35,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	15,659	23,337	33,196	36,415	39,364	42,980	45,559
25	10,520	11,524	13,120	14,611	16,473	24,337	34,382	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	17,292	25,336	35,563	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	18,114	26,336	36,741	40,113	43,195	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	18,939	27,336	37,916	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	19,768	28,336	39,087	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	20,599	29,336	40,256	43,773	46,979	50,892	53,672
35	17,192	18,509	20,569	22,465	24,797	34,336	46,059	49,802	53,203	57,342	60,275
40	20,707	22,164	24,433	26,509	29,051	39,335	51,805	55,758	59,342	63,691	66,766
45	24,311	25,901	28,366	30,612	33,350	44,335	57,505	61,656	65,410	69,957	73,166
50	27,991	29,707	32,357	34,764	37,689	49,335	63,167	67,505	71,420	76,154	79,490
55	31,735	33,570	36,398	38,958	42,060	54,335	68,796	73,311	77,380	82,292	85,749
60	35,534	37,485	40,482	43,188	46,459	59,335	74,397	79,082	83,298	88,379	91,952
70	43,275	45,442	48,758	51,739	55,329	69,334	85,527	90,531	95,023	100,425	104,215
80	51,172	53,540	57,153	60,391	64,278	79,334	96,578	101,879	106,629	112,329	116,321
90	59,196	61,754	65,647	69,126	73,291	89,334	107,565	113,145	118,136	124,116	128,299
100	67,328	70,065	74,222	77,929	82,358	99,334	118,498	124,342	129,561	135,807	140,169
110	75,550	78,458	82,867	86,792	91,471	109,334	129,385	135,480	140,917	147,414	151,948
120	83,852	86,923	91,573	95,705	100,624	119,334	140,233	146,567	152,211	158,950	163,648