

ÁREA TEMÁTICA 3: RECICLAGEM

QUANTIFICAÇÃO DE PONTOS DE ENTREGA VOLUNTÁRIA (PEVS) DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEE) NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Marianna Ottoni¹ Raíssa Araujo², e Lúcia Helena Xavier²

- 1. Programa de Planejamento Energético (PPE/COPPE) - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)*
- 2. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM / MCTI)*

RESUMO

O funcionamento eficaz dos sistemas de logística reversa (SLR) deve considerar, dentre outros, a garantia de chegada de volumes mínimos para a cadeia de recuperação de valor dos resíduos, de maneira a tornar economicamente viável sua reinserção no ciclo produtivo. Para tal, a coleta desempenha um papel fundamental nesses sistemas. No caso dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) no Brasil, o Decreto Federal 10.240/2020 salienta pontos de entrega voluntária (PEVs) como locais destinados a receberem tais resíduos para a sua posterior destinação às etapas seguintes dos SLR. Desta forma, o presente artigo objetiva quantificar o número de PEVs de REEE necessários para abastecerem o SLR na cidade do Rio de Janeiro. Dados relativos ao quantitativo populacional, Índice de Desenvolvimento Social (IDS) e área de cada região administrativa foram considerados no procedimento metodológico, que visou dividir tais variáveis segundo escalas de classificação para geração alta, média ou baixa de REEE, as quais implicariam em necessidades diferenciadas de PEVs. Os resultados apontaram para a heterogeneidade da cidade do Rio de Janeiro quanto ao desenvolvimento social e densidade demográfica em suas 33 regiões administrativas, com destaque para Campo Grande, Jacarepaguá, Santa Cruz e Barra da Tijuca, com necessidade de, respectivamente, 53, 39, 38 e 37 PEVs. Tais locais configuram-se como algumas das principais minas urbanas de REEE da cidade do Rio de Janeiro. A presente análise confirmou o potencial carioca de recuperação de valor a partir dos REEE, e contribuiu para os avanços nos SLR dessa tipologia de resíduos.

Palavras-chave: Voluntary delivery points (VDPs); Waste electrical and electronic equipment (e-waste); Reverse logistics systems (RLS).

QUANTIFICATION OF VOLUNTARY DELIVERY POINTS (VDPS) FOR WASTE ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT (E-WASTE) IN THE CITY OF RIO DE JANEIRO

ABSTRACT

The effective functioning of reverse logistics systems (RLS) must consider, among others, the guarantee of the arrival of minimum volumes for the waste value recovery chain, to make their reinsertion in the production cycle economically viable. To this end, the collection plays a fundamental role in these systems. In the case of waste electrical and electronic equipment (e-waste) in Brazil, Federal Decree 10.240 / 2020 highlights voluntary delivery points (VDPs) as places destined to receive such type of waste for its later destination to the next stages of the RLS. Thus, this article aims to quantify the number of e-waste VDPs needed to supply the RLS in the city of Rio de Janeiro. Data related to population quantity, Social Development Index (SDI) and area of each administrative region were considered in the methodological procedure, which aimed to divide these variables according to classification scales for the high, medium or low e-waste generation, which would imply different needs of VDP. The results pointed to the heterogeneity of the city of Rio de Janeiro in terms of social development and demographic density in its 33 administrative regions,

with emphasis on Campo Grande, Jacarepaguá, Santa Cruz and Barra da Tijuca, with the need for, respectively, 53, 39, 38 and 37 VDPs. Such sites are some of the main e-waste urban mines in the city of Rio de Janeiro. This analysis confirmed the potential of Rio de Janeiro to recover value from e-waste and contributed to the advances in RLS of this type of waste.

Keywords: Voluntary delivery points (VDPs); Waste electrical and electronic equipment (e-waste); Reverse logistics systems (RLS).

1. INTRODUÇÃO

Certas tipologias de resíduos sólidos, em decorrência de algumas particularidades, necessitam de gerenciamento especial e separado dos demais resíduos comuns. Esse é o caso dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), ou aqueles que derivam de equipamentos que necessitam de energia para seu funcionamento, seja por meio de corrente elétrica ou acumuladores. Atualmente, essa categoria é a que apresenta taxas de crescimento mais aceleradas no mundo se comparada com outras tipologias de resíduos (Baldé et al, 2017; Awasthi et al, 2018), o que implica na necessidade cada vez mais urgente de estabelecimento de sistemas logísticos para o gerenciamento adequado desses materiais.

A preocupação referente aos REEE dá-se em razão do seu grau de periculosidade. Muitos autores alertam quanto ao risco de contaminação individual e ambiental decorrente a um manuseio ou estocagem inadequados desses resíduos, por conterem em sua composição metais tóxicos, como Mercúrio (Hg), Chumbo (Pb), Cádmio (Cd), além de poluentes orgânicos persistentes e bioacumulativos, tais quais as substâncias presentes nos retardantes de chamas halogenados e livres de halogênios, bifenilas policloradas, filataltos, entre uma gama diversificada de elementos que podem ser encontrados na composição dos REEE (Kidee et al., 2013; Pascale et al., 2016; Bakhiyi et al., 2018).

Contudo, por conterem elementos valiosos ao mercado, como ouro (Au), prata (Ag), cobre (Cu), o alto potencial de valor presente nesses resíduos contribui para a redução da necessidade de extração diretamente de fontes naturais, e os impactos ambientais inerentes dessas atividades nas minas. Por isso, a recuperação de metais e outras substâncias valiosas a partir dos resíduos é denominada pela literatura como Mineração Urbana, consistindo no conjunto de operações (análise, transporte, processamento, reciclagem) para viabilizar a recuperação de matérias-primas secundárias estocadas nos materiais incorporados às cidades ou em aterros (Serranti et al., 2012). Por serem originados de materiais já processados em ciclos produtivos anteriores, os REEE geralmente apresentam-se como uma fonte de maior concentração de metais preciosos do que as jazidas minerais na natureza, como é o caso do ouro nos celulares e nas placas de circuito impresso dos computadores (Matharu, 2013).

A mineração urbana está diretamente ligado às premissas da Economia Circular, conceito que prega sistema industrial, que é restaurativo ou regenerativo pela intenção e pelo design, e visa 'projetar' o desperdício através de ciclos otimizados de produtos, componentes e materiais, mantendo-os em sua mais alta utilidade e valor, distinção entre ciclo técnico e biológico (EMF, 2016). A partir deste conceito, o fluxo de produção é limitado a um nível que a natureza tolera e utiliza ciclos ecossistêmicos em ciclos econômicos, respeitando suas taxas naturais de reprodução, contribuindo, assim, para as três dimensões do desenvolvimento sustentável: social, ambiental e econômica (Korhonen et al, 2018). Em termos práticos, no caso do segmento dos REEE, a economia circular reflete-se na recuperação do valor dos resíduos por meio de estratégias como reuso, reparo, recondicionamento, remanufatura e reciclagem, em que os materiais são utilizados como matéria-prima, por meio da mineração urbana, em novos processos produtivos.

A geração ser pulverizada de REEE e as grandes dimensões do Brasil configuram-se como importantes desafios para a gestão desses resíduos, o que reforça a necessidade de investimentos e a consolidação de estruturas logísticas para o retorno desses produtos pós-consumo à cadeia produtiva a partir dos Sistemas de Logística Reversa (SLR) (Xavier & Ottoni, 2019).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, definiu tais sistemas como aqueles que compreendem operações para a reinserção desses

resíduos na cadeia produtiva “para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada” (BRASILa, 2010), e estabeleceu a implementação obrigatória de SLR a essa e outras tipologias especiais de resíduos.

O Decreto Federal 7.404/2010 deu seguimento à PNRS, trazendo medidas de regulamentação da Política. Para o caso da logística reversa, o decreto apresenta os três instrumentos de implementação e operacionalização dos SLR, a saber: (i) Acordos setoriais (AS); (ii) Regulamentos expedidos pelo Poder Público; ou (iii) Termos de Compromisso (BRASILb, 2010).

Os acordos setoriais caracterizam-se como contratos firmados entre o poder público e os agentes da cadeia direta (fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes), de forma a concretizar medidas de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos em questão (BRASILb, 2010). Para o gerenciamento e contratação de serviços relacionados à implementação dos SLR, a lei prevê a criação de entidades gestoras, como é o caso da *Green Eletron* e ABREE para os REEE. Os SLR podem, da mesma forma, ser implementados por meio de regulamentação em forma de decreto expedida pelo Poder Executivo, devendo ser precedidos por consulta pública. Assim, mesmo após a existência de um Acordo Setorial para REEE, assinado em outubro de 2019, o Decreto Federal 10.240, publicado em 12 de fevereiro de 2020, esclareceu algumas lacunas ainda presentes no AS. Destaca-se, por exemplo, a obrigatoriedade de cumprimento dos termos do decreto no que tange ao SLR de REEE para todos os agentes do segmento, mesmo os que não tenham assinado o AS, tornando claras as responsabilidades e metas para a logística reversa (Brasil, 2020). O decreto reforçou, ainda, as metas trazidas pelo AS, como a implantação dos SLR a nível nacional em até cinco anos, sendo até o quinto ano obrigatória a coleta e destinação ambientalmente adequada de 17%, em peso, de todos os equipamentos eletroeletrônicos comercializados no mercado interno em 2018 (Brasil, 2020).

Os Termos de Compromisso, por sua vez, são documentos adotados pelo Poder Público e agentes da cadeia direta, mas apenas nas situações de ausência na área de abrangência de acordos setoriais ou regulamentação, ou nos casos de metas mais exigentes do que as estabelecidas pelo AS ou decreto para a localidade em questão (BRASILb, 2010). Antes da assinatura do AS e da publicação do decreto 10.240/2020, quatro estados brasileiros já possuíam termos de compromisso, dentre eles, Minas Gerais, Paraná, Pernambuco e São Paulo (Cardoso et al, 2019).

O funcionamento eficaz dos sistemas de logística reversa (SLR) deve considerar, dentre outros, a garantia de chegada de volumes mínimos para a cadeia de recuperação de valor dos resíduos, de maneira a tornar economicamente viável sua reinserção no ciclo produtivo. Para esse propósito, a etapa de coleta desempenha um papel fundamental nesses sistemas, podendo geralmente acontecer nas modalidades de coleta porta-a-porta pelo órgão municipal ou agentes da reciclagem (como indústrias recicladoras, cooperativas de catadores ou mesmo catadores individuais), ou por meio dos sistemas de entrega, em que o próprio consumidor encaminha seus resíduos aos postos de coleta (Ardi, 2016; Souza, 2019). No caso dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) no Brasil, o Decreto Federal 10.240/2020 salienta, ainda, os pontos de entrega voluntária (PEVs) como locais destinados a receberem tais resíduos para a sua posterior destinação às etapas seguintes dos SLR.

A cidade do Rio de Janeiro, pelo seu alto quantitativo populacional – segunda mais populosa do Brasil – e com significativo poder de compra, possui indícios de geração expressiva de REEE, conforme indicado pela literatura a relação entre essas variáveis (Kusch & Hills, 2017; Awasthi et al, 2018; Ottoni et al., 2018). Sendo assim, o estudo de questões relativas à logística reversa de REEE na cidade do Rio de Janeiro, principalmente no que tange à etapa inicial desse sistema, proporcionaria informações significativas para a concretização de um SLR eficaz e uma recuperação ótima do valor desses resíduos por meio da mineração urbana dos REEE.

2. OBJETIVO

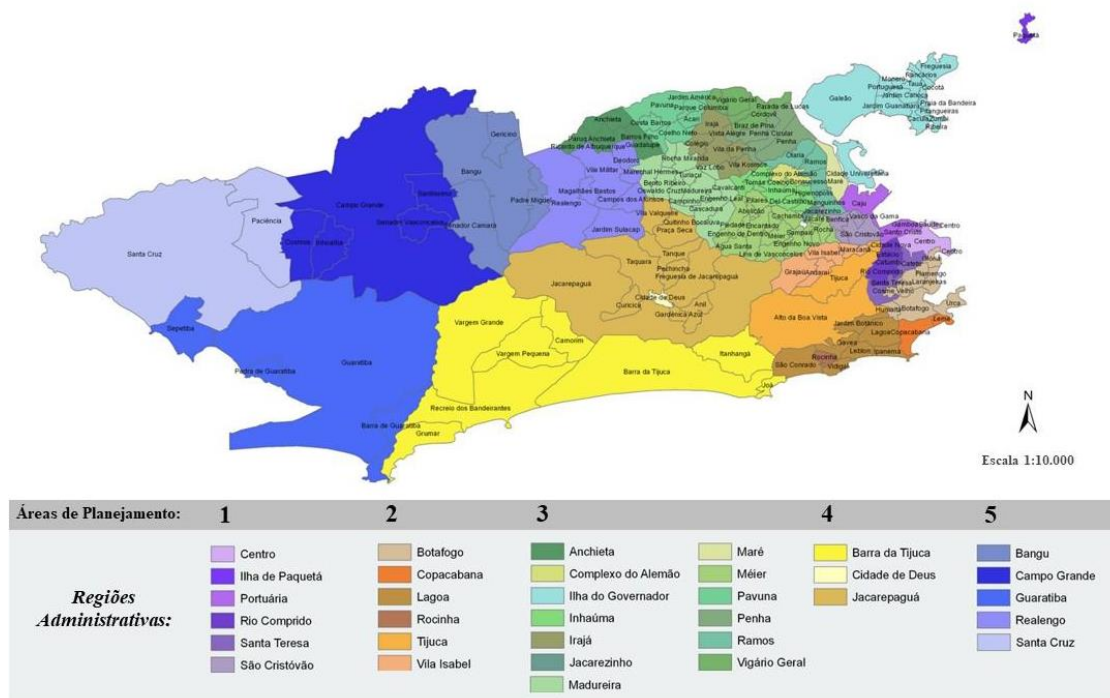
O presente artigo objetiva quantificar o número de pontos de entrega voluntária de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos necessários para abastecerem o sistema de logística reversa na

cidade do Rio de Janeiro em cada uma de suas 33 regiões administrativas, considerando, para isso, variáveis relativas à população, área de abrangência e desenvolvimento socioeconômico.

3. METODOLOGIA

De acordo com proposto no estudo de Ottoni et al. (2018), o alinhamento entre variáveis como população, renda e indicadores de qualidade de vida pode indicar um cenário mais realista para a estimativa da geração de REEE em uma cidade. Assim, por geradores potenciais de REEE, entende-se a parcela da população carioca com maior poder aquisitivo e qualidade de vida, abordado no presente trabalho por meio do Índice de Desenvolvimento Social (IDS), que considera variáveis referente a saneamento, qualidade habitacional, escolaridade e disponibilidade de renda. O IDS é um índice inspirado no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), porém considerando também fatores urbanísticos, utilizado para medir o grau de desenvolvimento social entre áreas de mesma natureza geográfica, porém considerando também fatores urbanísticos. Varia entre os valores de 0 e 1, sendo quanto mais próximo de um melhor a situação social do local (Cavallieri & Lopes, 2008). Uma situação social favorável levaria a um maior consumo de produtos eletroeletrônicos, o que conseqüentemente levará a um maior descarte. O maior poder de compra pela população está diretamente relacionado às taxas de geração de REEE (Kusch & Hills, 2017). Apesar do IDS ser considerado, no presente estudo, como principal fator em termos de maior grau de geração de REEE, a concentração populacional corrobora, da mesma forma, para uma geração mais acentuada desses resíduos (Ottoni et al., 2018). Dessa forma, foram obtidos por meio do Censo 2010 do IBGE os valores populacionais dos bairros que compõem as regiões administrativas da cidade do Rio de Janeiro, e multiplicados pelo valor de geração média de 7,4 kg/hab.ano (STEP, 2014), indicando, assim, quantidades estimadas de REEE em cada região administrativa da cidade. Tais montantes foram confrontados pelos valores de IDS das regiões administrativas municipais, obtidos pela Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro e calculados para o ano de 2010. A Figura 1 apresenta as áreas de planejamento municipais e as suas respectivas regiões administrativas para a cidade do Rio de Janeiro.

Figura 1. Divisões municipais em áreas de planejamento e regiões administrativas da cidade do Rio de Janeiro.



Fonte: Adaptado de Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (2015).

A necessidade de PEVs foi, inicialmente, calculada como uma unidade para cada uma das 33 Regiões Administrativas, em decorrência da cidade do Rio de Janeiro ser caracterizada por uma das mais populosas do Brasil, ou seja, cada região administrativa conta, por consequência, com quantitativos populacionais significativos.

Nem sempre grande quantitativo populacional, e, conseqüentemente, geração estimada de REEE pela metodologia em termos de população, corresponde a valores equivalentes de IDS. Assim, tendo em vista que as duas variáveis população e desenvolvimento social são independentes entre si, utilizou-se de uma ponderação das duas para classificar a necessidade PEVs para cada região administrativa, divididas nas classes pequena (P), média (M) e grande (G). Ademais, foram adotados como critérios para determinar a necessidade de alocação de PEV: (i) Geração de REEE pelo método populacional; e (ii) Grau de IDS.

A combinação dos critérios e a classificação proposta para a necessidade de PEVs encontram-se resumidos na Tabela 1.

Tabela 1. Critérios e classificação de proposta para a necessidade de alocação de pontos de entrega voluntária (PEVs) na cidade do Rio de Janeiro.

Classificação da necessidade de PEVs	Parâmetro	Valor
G	Geração de REEE (Método populacional)	>1kt/ano
	E	
	IDS	>0,65
M	OU	
	Geração de REEE (Método populacional)	>3kt/ano
	Geração de REEE (Método populacional)	>1kt/ano
P	OU	
	IDS	>0,65
	Outros casos	

De acordo com a classificação proposta na Tabela 1, aplica-se uma densidade específica de PEV por número de habitantes, adaptada da estimativa fornecida por ABDI (2013), que afirmou a necessidade de 1 PEV para cada 25.000 hab. Contudo, considerou-se, no presente estudo, a necessidade de ponderar tal valor em função dos critérios analisados neste documento. A adoção de tal classificação deu-se de forma a suprir a demanda de retorno desses REEE e evitar áreas de abrangências demasiadamente extensas e, portanto, longas distâncias do consumidor até o equipamento.

Para a área da região administrativa, foram considerados os setores censitários com população diferente de zero pelo censo de 2010 do IBGE (IBGE, s.d.). Dessa forma, quanto maior a geração de REEE, mais concentrada a densidade de PEV, por sua vez, podendo ser calculada em função da população atendida ou da área de abrangência, conforme indicado na Tabela 2.

Tabela 2. Densidade específica dos pontos de entrega voluntária (PEVs) por número de habitantes, de acordo com a classificação da necessidade de PEVs proposta.

Classificação da necessidade de PEVs	Densidade de PEV		
	Método Populacional	ou	Método da Área
G	1 PEV/15.000 hab	ou	1 PEV/2 km ²
M	1 PEV/20.000 hab	ou	1 PEV/2 km ²
P	1 PEV/25.000 hab	ou	1 PEV/2 km ²

No primeiro caso, por exemplo, para grandes necessidades de alocação de PEVs (classe G), ou seja, locais com demandas maiores de coleta em função do maior quantitativo de geração de REEE, foi considerado o valor de 1 PEV para cada 15.000 habitantes. O cálculo em função da área deu-se com base em um raio de abrangência de aproximadamente 800m ao redor do PEV, resultando em áreas de influência de até 2 km². Nos casos em que o número de PEVs por área encontrava-se maior do que o dobro do valor de PEVs calculado em função da população, adotou-se o limite máximo de duas vezes o quantitativo de PEVs estimados em função do número de habitantes. Dessa forma, a estimativa de densidade de PEVs pela área pode ser limitada, ao considerar que locais de grande geração em áreas de maiores dimensões, porém com baixa densidade populacional, devem possuir uma distribuição de PEVs mais concentrada nos pontos de maiores aglomerações demográficas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta as principais variáveis consideradas para estimar o quantitativo final de PEVs necessários para suprir a demanda de retorno de REEE via logística reversa em cada região administrativa da cidade do Rio de Janeiro.

De forma geral, a Tabela 3 indica como a cidade do Rio de Janeiro caracteriza-se como heterogênea quanto ao desenvolvimento social e densidade demográfica ao longo de suas 33 regiões administrativas. Observa-se que Campo Grande, Jacarepaguá, Santa Cruz e Barra da Tijuca, com necessidade de 53, 39, 38 e 37 PEVs, apresentaram os maiores quantitativos. Por outro lado, Paquetá, Jacarezinho e Cidade de Deus obtiveram os menores quantitativos, com valor calculado de um, dois e dois PEVs, respectivamente.

Conforme apresentado na Tabela 3, foi estimado o número total de 547 PEVs, segundo a metodologia do presente estudo, para a cidade do Rio de Janeiro. Esse quantitativo representa quase o dobro do valor indicado pela metodologia de ABDI (2013), que considera apenas a variável população, com indicação de 1 PEV para cada 25.000 habitantes, com um cálculo de aproximadamente 262 PEVs para a cidade em questão. Como consequência, observa-se que a consideração de apenas uma variável (população) resultou em números de pontos de coleta subestimados, podendo causar volumes de coleta de REEE reduzidos, onerando o SLR por perda de recuperação de valor, além de maiores impactos ambientais dos resíduos não coletados.

Tabela 3. Definição do número final de PEVs necessários para cada região administrativa da cidade do Rio de Janeiro com base na quantidade populacional, geração estimada de REEE, IDS e área ocupada, organizados por ordem crescente de população.

Regiões Administrativas	Pop. (hab)	Geração de REEE (kt/ano)	IDS	Classificação do PEV	Área (km ²)	Quantidade de PEV		
						Método Pop.	Método Área	Final
Jacarepaguá	572.030	4,23	0,6	G	65,04	39	33	39
Campo Grande	542.084	4,01	0,562	G	105,11	37	53	53
Bangu	428.035	3,17	0,568	G	28,3	29	15	29
Méier	397.782	2,94	0,629	M	24,68	20	13	20
Lagoa	395.452	2,93	0,764	G	13,96	27	7	27
Madureira	372.555	2,76	0,59	M	26,66	19	14	19
Santa Cruz	368.534	2,73	0,528	M	136,17	19	69	38

Barra da Tijuca	300.82 3	2,23	0,67 6	G	73,65	21	37	37
Realengo	243.00 6	1,8	0,57 8	M	1,39	13	1	13
Botafogo	239.72 9	1,77	0,73 5	G	11,93	16	6	16
Ilha do Governador	212.57 4	1,57	0,62 7	M	40,81	11	21	21
Pavuna	208.81 3	1,55	0,55 3	M	17,45	11	9	11
Irajá	202.95 2	1,5	0,61	M	14,13	11	8	11
Vila Isabel	189.31 0	1,4	0,67 9	G	8,72	13	5	13
Penha	185.71 6	1,37	0,59 1	M	13,72	10	7	10
Tijuca	181.81 0	1,35	0,69 7	G	10,79	13	6	13
Copacabana	161.19 1	1,19	0,73	G	3,85	11	2	11
Anchieta	158.31 8	1,17	0,57 5	M	12,48	8	7	8
Ramos	153.17 7	1,13	0,59 1	M	11,26	8	6	8
Vigário Geral	136.17 1	1,01	0,55 9	M	10,37	6	6	6
Inhaúma	134.34 9	0,99	0,58 8	P	9,82	6	5	6
Maré	129.77 0	0,96	0,54 7	P	4,27	6	3	6
Guaratiba	123.11 4	0,91	0,49 3	P	109,6	5	55	10
São Cristóvão	84.908	0,63	0,58 2	P	7,55	4	4	4
Rio Comprido	78.975	0,58	0,59 6	P	4,82	4	3	4
Rocinha	69.356	0,51	0,53 3	P	0,9	3	1	3
Complexo do Alemão	69.143	0,51	0,53 2	P	2,83	3	2	3
Portuária	48.664	0,36	0,56 1	P	8,1	2	5	5
Centro	41.142	0,3	0,64 3	P	5,67	2	3	5
Santa Teresa	40.926	0,3	0,62 4	P	5,08	2	3	3
Jacarezinho	37.839	0,28	0,53 4	P	0,99	2	1	2
Cidade de Deus	36.515	0,27	0,55 9	P	1,21	2	1	2
Paquetá	3.361	0,02	0,60 8	P	1,68	1	1	1
TOTAL		48,43						457

Dos 33 distritos, a classe P de necessidade de alocação de PEVs obteve o maior número de resultados, com 13 distritos, seguido por M com 11 e por último nove com G. Dos distritos com classificação G, dois terços foram referentes à população com probabilidade de grande geração devido ao alto IDS (população de classe socioeconômica mais elevada). Os distritos com necessidade mediana de PEVs cumpriram o critério de geração acima de 1 Kt/ano e nenhum o de $IDS > 0,65$. Para os distritos que apresentaram classificação P, são, em sua maioria, distritos de baixa população, onde somente três dos 10 possuíam população acima dos 100 mil habitantes, além de baixo índice social, com apenas três distritos apresentando IDS acima de 0,6.

Com relação aos métodos de quantificação de PEVs, dois terços foram calculados pelo método populacional, seis pelo método de área, três apresentaram o mesmo resultado para os dois métodos e para dois foi utilizada a combinação dos dois métodos (duplicação do valor obtido pelo método populacional). O maior valor foi para a região administrativa de Campo Grande, que possui expressiva população (2º) e grande área (3º). Jacarepaguá apresentou a segunda maior quantidade de necessidade de PEVs (39), com destaque de maior quantitativo de PEVs pelo método da populacional. Santa Cruz, por ser o território mais extenso, apresentou maior quantitativo de PEVs por área, porém observou-se a grande amplitude dos valores calculados pelos dois métodos, justamente pelo quantitativo populacional não ser proporcional às dimensões dessa região administrativa (valor obtido pelo método da área é 3,6 vezes maior que pelo método populacional). A discrepância da área com relação à variável população foi equilibrada pela metodologia de cálculo adotada, de forma a não superestimar o número de PEVs para uma dada região. Contudo, o valor mais discrepante entre os métodos foi para o distrito de Guaratiba, com grande área e baixa população, em que o valor calculado pelo método de área apresentou-se 11 vezes maior do que pelo populacional. Os maiores quantitativos do número final de PEVs foi em maioria para os distritos com classificação G, com todos os distritos com valores maiores de 10 PEVs. De maneira singular, os menores quantitativos foram para aqueles com classificação P, com exceção de Guaratiba que foi aumentado devido a sua extensa área. Ainda, os valores calculados entre os dois métodos na classe P foram os mais próximos, com exceção de Guaratiba. Neste quesito, cabe destacar o caso da Maré, que apresenta uma grande população em comparação a uma área pequena, que também é o caso da Rocinha. Considerando as 10 menores populações, os valores de PEVs finais necessários variaram entre um e cinco, com os menores resultados da amostra.

Dessa forma, a partir dos resultados apresentados na Tabela 3, a utilização da variável área para ponderar os valores estimados de PEVs para cada região administrativa da cidade do Rio de Janeiro configurou-se como uma medida para gerar maior equilíbrio no quantitativo final de PEVs em comparação com o critério de população apenas, como considerado em ABDI (2013). No estudo de Ottoni et al. (2018), utilizou-se apenas o método populacional para estimar os valores necessários de PEVs para o estado do Rio de Janeiro, porém ressaltou-se a importância de serem considerados outros parâmetros de caráter socioeconômico. Assim, o procedimento adotado no presente artigo trouxe ponderações para evitar tanto o cálculo de grandes quantidades de PEVs em áreas muito extensas, porém pouco povoadas, quanto o subdimensionamento de PEVs em regiões muito povoadas e com maior padrão de vida (geralmente, as maiores geradoras de REEE). Portanto, o uso do IDS para ponderar os valores de necessidade de PEV trouxe um aprimoramento com relação às metodologias de estimativa de PEVs, por embutir características socioeconômicas e de qualidade de vida da população, fatores diretamente ligados à geração de REEE (Awasthi et al., 2018; Ottoni et al., 2018).

5. CONCLUSÕES

O presente estudo evidenciou a cidade do Rio de Janeiro como um local de grande potencial para a mineração urbana de REEE, em decorrência de sua alta de geração dessa tipologia de resíduo. O cálculo adotado para a estimativa de PEVs necessários para abastecer a logística reversa no local em estudo considerou aspectos demográficos, espaciais e variáveis socioeconômicas e de qualidade de vida, apontando para locais de destaque, dentre as 33 regiões administrativas totais,

para alocação de PEVs, como Campo Grande, Jacarepaguá, Santa Cruz e Barra da Tijuca, com necessidade de, respectivamente, 53, 39, 38 e 37 PEVs. Dessa forma, foi possível obter uma avaliação mais ampla, adequada e realista do quantitativo necessário de PEVs, com uma indicação total de 457 PEVs para todo o município, e sua distribuição mais estratégica pelas regiões administrativas considerando o atual cenário da cidade do Rio de Janeiro.

Assim, o estudo corroborou para a sugestão de uma metodologia mais completa para estimar PEVs e, com isso, viabilizar a logística reversa de REEE e tornar mais eficazes os SLR, o que corrobora para o aumento da recuperação de valor desses resíduos a partir da mineração urbana e fechamento do ciclo do segmento dos produtos eletroeletrônicos, dando um passo à frente na concretização da Economia Circular no âmbito da gestão de resíduos.

1.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CETEM e ao CNPq pela bolsa concedida. Projeto CNPq nº 400555/2020-4.

2. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos. Análise de Viabilidade Técnica e Econômica, 2013. Disponível em: http://www.abdi.com.br/Estudo/Logistica%20reversa%20de%20residuos_.pdf. Acesso em: 12 de março de 2020.

ARDI, R. Waste Electrical and Electronic Equipment Waste Electrical (WEEE) management systems in the developed and the developing countries: A comparative structural study. Doctoral Dissertation, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering and Process Engineering, Universität Duisburg-Essen, Alemanha, 2016. Disponível em: https://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-42445/Ardi_Diss.pdf. Acesso em: 12 de março de 2020.

AWASTHI A.K., CUCCHIELLA F., D'ADAMO I., LI J., ROSA P., TERZI S., WEIG., ZENG X. Modelling the correlations of e-waste quantity with economic increase. *Science of the Total Environment* 613-614, p. 46-53, 2018.

BAKHIYIA, B., GRAVELA, S., CEBALLOSC, D., FLYNN, M.A., ZAYEDA, J. Has the question of e-waste opened a Pandora's box? An overview of unpredictable issues and challenges. *Environment International* 110, p. 173–192, 2018.

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. Disponível em: <http://ewastemonitor.info/>. Acesso em: 01 de março de 2020.

BRASIL(a). Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 08 de março de 2020.

BRASIL(b). Decreto Nº 7.404, 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm. Acesso em: 08 de março de 2020.

BRASIL. Decreto Nº 10.240, 12 de fevereiro de 2020. Regulamenta o inciso VI do caput do art. 33 e o art. 56 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e complementa o Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=389786>. Acesso em: 08 de março de 2020.

CARDOSO, E., ROTOLO, M.; VALLE, T.F., OTTONI, M.S.O, FERNANDES, H.F. Desafios da Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos no Brasil. Revista Ineana v. 07 n.1 . p. 6-19, jul/dez 2019. Disponível em: http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2020/02/Revista-Ineana-v.7-n.1_web.pdf. Acesso em: 01 de março de 2020.

CAVALLIERI, F., LOPES, G. P. Índice de Desenvolvimento Social - IDS: comparando as realidades microurbanas da cidade do Rio de Janeiro. Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos (IPP) - Coleção Estudos Cariocas, 2008. Disponível em: http://portalgeo.rio.rj.gov.br/estudoscariocas/download/2394_%C3%8Dndice%20de%20Desenvolvimento%20Social_IDS.pdf. Acesso em: 20 de fevereiro de 2020.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (EMF). Circular Economy, 2016. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy>. Acesso em: 10 de março de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo 2010. Sem data. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2020.

KIDEE P., NAIDU R., WONG M.H. Electronic waste management approaches: an overview. Waste Management 33, p. 1237-1250, 2013.

KORHONEN, J., HONKASALO, A., SEPPÄLÄ, J. Circular Economy: The Concept and its Limitations. Ecological Economics 143, p. 37-46, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>

KUSCH, S., HILLS, C.D. The Link between e-Waste and GDP—New Insights from Data from the Pan-European Region. Resources 2017, p. 6-15, 2017. DOI:10.3390/resources6020015.

MATHARU, A. S. WEEE Waste recovery. In: Element Recovery and Sustainability. RSC Green Chemistry No. 22, p. 207-217, 2013.

OTTONI, M.S.O., NASCIMENTO, H.F., XAVIER, L.H. Geração de resíduos eletroeletrônicos no estado do Rio de Janeiro: Logística reversa a partir dos pontos de entrega voluntária (PEVs). 1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade (CONRESOL), 2018.

OTTONI, M., DIAS, P., XAVIER, L. H. A circular approach to the e-waste valorization through urban mining in Rio de Janeiro, Brazil. In Press, Journal Pre-proof. Journal of Cleaner Production, 2020. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620310374?via%3Dihub> DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120990>

PASCALE A., SOSA A., BARES C., BATTOCLETTI A., MOLL M.J. E-Waste Informal Recycling: An Emerging Source of Lead Exposure in South America. Antonio María José Moll, MD, Annals of Globe Health, v. 82, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aogh.2016.01.016>. Acesso em: 12 de março de 2020.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Diagnóstico urbano-ambiental da cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/6028774/4158532/DiagnosticoUrbanoCTPD2015.pdf>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2020.

SERRANTI, S.; DI MAIO, F.; REM, P.; BONIFAZI, G. Innovative Technologies and processing architectures in Urban Mining: Two key issues to ensure secondary raw materials supply. Urban Mining: A global cycle approach to resource recovery from solid waste. p. 23-47, 2012

SOLVING THE E-WASTE PROBLEM (STEP). Brazil: Overview of e-waste related information. 2014. Disponível em: http://www.step-initiative.org/Overview_Brazil.html. Acesso em: 12 de fevereiro de 2020.

SOUZA, R. G. E-waste situation and current practices in Brazil. Em: Handbook of Electronic Waste Management. International Best Practices and Case Studies. P. 377 – 396, 2019. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128170304/handbook-of-electronic-waste-management>

XAVIER, L.H., OTTONI, M. Circular economy and urban mining: waste electrical and electronic equipment. 1st Edition. Rio de Janeiro: CETEM, 2019.