

### **III-468 - ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS, TENDO LONDRINA, PARANÁ, COMO ESTUDO DE CASO**

**Isabella Stoppa Müller Fernandes<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Tocantins (UFT). Mestranda em Engenharia de Edificações e Saneamento na Universidade Estadual de Londrina (UEL).

**Fernando Fernandes<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Doutor em Engenharia pelo Institut National Polytechnique de Toulouse. Professor associado no Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina (UEL).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rodovia Celso Garcia Cid - Pr 445 km 380 - Campus Universitário - Londrina - PR - CEP: 86057-970 - Brasil - Tel: (61) 8135 - 4543 - e-mail: bellamulleramb@gmail.com

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Rodovia Celso Garcia Cid - Pr 445 km 380 - Campus Universitário - Londrina - PR - CEP: 86057-970 - Brasil - Tel: (43) 3371 - 4470 - e-mail: fernando@uel.br

#### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho é contribuir com uma abordagem metodológica que subsidie as estimativas de geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, tendo Londrina, Paraná, como estudo de caso. Devido à grande variedade de equipamentos eletroeletrônicos, para esse trabalho foram estudados os seguintes equipamentos: refrigeradores, freezers, televisores, computadores e celulares. Para estimar o fluxo de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no município de Londrina, foram simuladas três situações: na primeira, utilizou-se os dados fornecidos pelo IBGE para o município de Londrina; na segunda, adotou-se o comportamento de Belo Horizonte para Londrina; e na terceira, adotou-se o comportamento de Curitiba para Londrina. Os resultados indicaram que, para o caso de Londrina, haverá anualmente um descarte de 3.323 toneladas de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. Por fim, a metodologia apresentada neste trabalho, embora ainda preliminar, pode ser aplicada a outros municípios brasileiros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, Geração, Gerenciamento.

#### **INTRODUÇÃO**

Os Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos são um dos principais problemas ambientais do século XXI. No Brasil, a Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010 marca o início de uma abordagem sobre esse tema.

A Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, está entre as leis ambientais brasileiras mais importantes. Ela é direcionada a todos os envolvidos direta ou indiretamente na geração, gestão ou gerenciamento de resíduos sólidos (cidadão, poder público e empresas privadas). Quanto aos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, em seu título III, art. 33, a referida Lei define que deverão ser estruturados e implementados sistemas de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

Apesar da Política Nacional de Resíduos Sólidos ter implementado os produtos eletroeletrônicos como passíveis de logística reversa, percebe-se que a própria ressalva, em seu art. 56, que a logística reversa desses produtos será implementada de forma progressiva, postergando, dessa forma, a sua exigência e admitindo dificuldades técnicas e operacionais.

A logística reversa, segundo Xanthopoulos (2007), é um dos mais importantes parâmetros no gerenciamento de resíduos. Achillas et al. (2010), afirmam que o desenvolvimento e a coordenação de toda a infraestrutura de logística reversa é crucial tanto para um gerenciamento eficiente de coleta de resíduos, quanto para a viabilidade de sistemas de coleta e recuperação.

Essa ferramenta busca promover uma mudança no quadro dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, que não deverão ser destacados em aterros sanitários e, sim, passar por uma etapa de gerenciamento e processamento de resíduos e ter um destino ambientalmente adequado. Para as empresas, esse processo mostra-se vantajoso economicamente, visto que elas economizam na extração de matéria-prima, devido à sua composição, e nos gastos com consumo de energia, além de interferir na questão do *marketing*.

Visando à redução do volume de resíduos encaminhados ao aterro sanitário e ao aproveitamento dos resíduos através da reciclagem, reutilização e reuso, o município de Londrina - PR vem debatendo a implantação do Programa Lixo Zero, que é constituído por um sistema de gestão de resíduos (LONDRINA - CMTU, 2013).

Em qualquer sistema de gestão de resíduos, os dados de previsão de geração são fundamentais para o dimensionamento das diversas fases do processo. No caso dos resíduos eletroeletrônicos esta dificuldade é ainda maior, pois além de terem vida útil variável existem poucas abordagens metodológicas voltadas para procedimentos de previsão de geração desses resíduos.

Um exemplo de metodologia utilizada para este fim é o caso de Franco e Lange (2011). Realizou-se uma estimativa sobre o fluxo de geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos para o município de Belo Horizonte e conclui-se que o município gera uma quantidade de, aproximadamente, 591.012 toneladas de REEE por ano.

Sendo assim, este trabalho visa contribuir com uma abordagem metodológica que subsidie as estimativas de geração de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, tendo Londrina como estudo de caso.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Londrina é um município localizado no estado do Paraná, Região Sul do Brasil, com uma extensão de 1.653,075 km<sup>2</sup>. Segundo estimativa do IBGE (2010), a população de Londrina em 2014 é de 543.003, e a quantidade de domicílios particulares permanentes é de 164.898.

Devido à escassez de dados sobre resíduos de equipamentos eletroeletrônicos para o município de Londrina-PR, a metodologia utilizada para o desenvolvimento desse trabalho foi adaptada de Franco & Lange (2011) e da ABDI (2013).

A fim de melhor embasar a estimativa de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos para o município de Londrina, foram utilizados como referência as cidades de Belo Horizonte e Curitiba, pelo fato de a primeira ter sido utilizada por Franco & Lange (2011) e de a segunda ser capital do Paraná. Os dados utilizados para esses municípios foram obtidos do Censo 2010 (IBGE, 2010).

Para estimar o fluxo de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no município de Londrina, foram simuladas três situações de acordo com domicílios por posse de bens adaptados do IBGE. Na primeira, utilizou-se dados adaptados do IBGE para o município de Londrina; na segunda, adotou-se o comportamento de Belo Horizonte para Londrina; e na terceira, adotou-se o comportamento de Curitiba para Londrina. A Tabela 1 apresenta esses valores.

**Tabela 1:** Porcentagem de domicílios por posse de bens (Londrina, Belo Horizonte, Curitiba)

Equipamento	LONDRINA-PR <sup>1</sup>	BELO HORIZONTE-MG <sup>2</sup>	CURITIBA-PR <sup>3</sup>
Refrigerador	99,09%	98,76%	98,66%
Freezer	0	16,17%	19,16%
Televisor	97,53%	98,45%	97,6%
Computador	58,49%	58,1%	59,3%
Celular	87,84%	92,8%	88,8%

<sup>1</sup> Adaptado de IBGE, 2010 <sup>2</sup> Adaptado de IBGE, 2011 <sup>3</sup> Adaptado de IBGE, 2011

Para todas as estimativas foram utilizadas informações referentes às populações estimadas para 2014 nos três municípios em questão, considerando, no entanto, que a relação de domicílios que possuem os equipamentos estudados em 2014 permaneceria a mesma de 2010 (para o primeiro caso) e 2011 (para os demais casos).

Há uma grande variedade de equipamentos eletroeletrônicos e, dessa forma, estimar a geração de resíduos para todos esses equipamentos seria inviável, principalmente devido à falta de informações sobre eles. Sendo assim, para esse trabalho foram estudados os seguintes equipamentos: refrigeradores, freezers, televisores, computadores e celulares. A seleção dos equipamentos eletroeletrônicos utilizados seguiu o descrito e estudado por Franco & Lange (2011), a fim de facilitar a comparação e a análise de relação entre as informações geradas.

Para a estimativa de geração de resíduos, foram utilizados os dados disponibilizados pelo IBGE sobre a posse de bens eletroeletrônicos nos domicílios. No entanto, esses dados não fornecem informações sobre a quantidade de bens por domicílios, o que implica na geração de números subestimados quando se trata de televisores, computadores e celulares, que são bens pessoais e que a maioria dos domicílios possui mais de uma unidade de cada um. Sendo assim, utilizou-se dados do FGV(2014) e Anatel(2014) para comparar e relacionar valores e, assim, obter quantidades de resíduos gerados mais precisas.

Para o cálculo sobre a geração de REEE, utilizou-se informações sobre a vida útil, já estabelecidas pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA, 2007) e também utilizados por Franco & Lange (2011), e sobre o peso médio dos equipamentos em questão, definidos por Franco & Lange (2011).

A fim de obter a estimativa da quantidade de resíduos gerados (em toneladas), utilizou-se a Equação 1:

$$\text{REEE gerados (toneladas)} = n^{\circ} \text{ de aparelhos (milhões)} \times \text{peso médio (Kg)} \times 100 \quad (1)$$

Uma vez que os dados não indicam quando os equipamentos foram comprados e considerando que a geração de REEE possui o mesmo comportamento ao longo dos anos, foi utilizada a Equação 2 para a obtenção da estimativa da quantidade de resíduos gerados por ano (toneladas.ano<sup>-1</sup>):

$$\text{REEE gerados (toneladas.ano}^{-1}\text{)} = \text{REEE gerados (toneladas)} \div \text{vida útil (anos)} \quad (2)$$

A partir da média dos números obtidos, estimou-se a quantidade de resíduos de equipamentos gerados no município de Londrina.

## RESULTADOS

A partir de dados sobre a posse de bens eletroeletrônicos no município de Londrina, disponibilizados pelo IBGE (2010), e aplicações das fórmulas descritas na metodologia, obteve-se a Tabela 2 como resultado. É importante ressaltar que o IBGE não disponibilizou dados sobre freezers e, por isso, os valores para esse eletroeletrônico ficaram descritos na tabela como "0" (zero).

**Tabela 2:** Geração de REEE em Londrina-PR em relação aos dados do IBGE (Censo 2010)

Equipamentos	Vida útil (anos) <sup>1</sup>	Peso Médio (Kg) <sup>2</sup>	Número de aparelhos (milhões) <sup>3</sup>	Relação de domicílios (%)	REEE gerados (ton)	Ano provável (FVU)	REEE gerados (ton)/ano
Refrigerador	15	53	0,16	99,09	8660	2025	577
Freezer	15	53	0,00	0	0	2025	0
Televisores	13	25	0,16	97,53	4021	2023	309
Computadores	5	22	0,10	58,49	2122	2015	424
Celulares	2	0,1	0,14	87,84	14	2012	7
<b>TOTAL</b>							<b>1318</b>

<sup>1</sup>US-EPA, 2007 <sup>2</sup>FRANCO & LANGE, 2011 <sup>3</sup>IBGE, 2010

A fim de verificar e corroborar os valores obtidos e de obter uma comparação do município de Londrina-PR com outros municípios brasileiros, Belo Horizonte e Curitiba foram utilizados como referência, utilizando dados do IBGE (2011) para esses dois municípios. Foram realizadas as estimativas para esses dois municípios

utilizando a mesma metodologia utilizada para o município de Londrina e percebeu-se que a relação de domicílios que possuíam esses bens eletroeletrônicos eram muito semelhantes. Após a aplicação dos cálculos, notou-se que a quantidade de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos gerados está diretamente relacionada ao tamanho da população.

A partir dessa observação, foram realizadas simulações de estimativas para Londrina utilizando a relação de domicílios (%) que possuíam esses bens tanto de Belo Horizonte, quanto de Curitiba, conforme demonstram as Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3:** Geração de REEE em Londrina-PR em relação à Belo Horizonte-MG

Equipamentos	Vida útil (anos) <sup>1</sup>	Peso Médio (Kg) <sup>2</sup>	Número de aparelhos (milhões)	Relação de domicílios (%)	REEE gerados (ton)	Ano provável (FVU)	REEE gerados ton/ano
Refrigerador	15	53	0,163	98,76	8631	2026	575
Freezer	15	53	0,027	16,17	1413	2026	94
Televisores	13	25	0,162	98,45	4059	2024	312
Computadores	5	22	0,096	58,1	2108	2016	422
Celulares	2	0,1	0,153	92,8	15	2013	8

<sup>1</sup>US-EPA, 2007 <sup>2</sup>FRANCO & LANGE, 2011

**Tabela 4:** Geração de REEE em Londrina, PR em relação à Curitiba-PR

Equipamentos	Vida útil (anos) <sup>1</sup>	Peso Médio (Kg) <sup>2</sup>	Número de aparelhos (milhões)	Relação de domicílios (%)	REEE gerados (ton)	Ano provável (FVU)	REEE gerados ton/ano
Refrigerador	15	53	0,163	98,66	8622	2026	575
Freezer	15	53	0,032	19,16	1674	2026	112
Televisores	13	25	0,161	97,6	4024	2024	310
Computadores	5	22	0,098	59,3	2151	2016	430
Celulares	2	0,1	0,146	88,8	15	2013	7

<sup>1</sup>US-EPA, 2007 <sup>2</sup>FRANCO & LANGE, 2011

Observou-se a partir dessas simulações que a quantidade de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos gerados em toneladas por ano ficou muito próxima em ambos os casos, o que é explicado pela grande similaridade entre a relação de domicílios que possuem esses bens. A fim de comparar esses resultados com os resultados já obtidos para Londrina através dos dados do IBGE, realizou-se uma média entre os valores de REEE gerados em toneladas por anos para ambas as simulações, atingindo os seguintes resultados: refrigeradores - 575 ton/ano; freezers - 103 ton/ano; televisores - 311 ton/ano; computadores - 426 ton/ano; celulares - 7 ton/ano; total de 1422 toneladas de REEE gerados/ano.

Comparando esses valores com a Tabela 2, é possível perceber que a diferença entre os resultados obtidos é muito pequena e que, portanto, demonstram a grande similaridade entre o comportamento dos três municípios, apesar de suas diferenças. Sendo assim, infere-se que esse pode ser um comportamento generalizado para alguns municípios brasileiros com características semelhantes, como o poder aquisitivo, por exemplo.

Uma vez que os dados do IBGE consideram apenas a ausência ou presença dos equipamentos eletroeletrônicos nos domicílios (1 por domicílio), concluiu-se que esses valores estavam subestimados para televisores, computadores e celulares, uma vez que esses são equipamentos pessoais e, portanto, estão presentes em maior quantidade nos domicílios. Já para freezers e refrigeradores, estes valores mostraram-se pertinentes. Sendo assim, através de dados do FGV (2014) e da Anatel (2014), foram estimados dados de televisores, computadores e celulares por habitante, obtendo valores bem acima dos estimados anteriormente para esses equipamentos, conforme mostra a Tabela 5.

Considerando, então, a heterogeneidade entre os equipamentos eletroeletrônicos, percebe-se que as estimativas geradas a partir de dados do IBGE encaixam-se para refrigeradores e freezers, pelo fato de serem produtos domiciliares. Já para televisores, computadores e celulares, as estimativas geradas pela FGV e Anatel, respectivamente, mostram-se mais confiáveis, justamente por serem objetos de uso pessoal.

Sendo assim, estima-se que o município de Londrina-PR gere um total de 3.323 toneladas de REEE por ano, sendo: refrigeradores - 576 ton/ano; freezers - 103 ton/ano; televisores - 1008 ton/ano; computadores - 1600 ton/ano; celulares - 37 ton/ano.

**Tabela 5:** Geração de resíduos de televisores, computadores e celulares em Londrina

Equipamentos	Fonte	Equipamento /Habitante (Brasil)	Total de equipamentos em Londrina	REEE gerados (toneladas)	REEE gerados / ano (ton/ano)
Televisores	FGV (2014)	0,96	523.939	13.098	1.008
Computadores	FGV (2014)	0,67	363.550	7.998	1.600
Celulares	Anatel (2014)	1,36	738.201	74	37

## CONCLUSÕES

A partir do estudo, é possível perceber que os dados do IBGE mostraram-se mais adaptados para a estimativa de produção de refrigeradores e freezers, já que os dados se referem a domicílios. No entanto, para a estimativa de computadores e televisores, os dados do FGV se mostraram mais adequados, pois indicam os quantitativos por habitante. Situação semelhante ocorreu quanto aos dados sobre celulares, para os quais os dados da Anatel mostraram-se ideais.

Para o caso de Londrina, a previsão é que anualmente haja um descarte de 576 toneladas de refrigeradores, 103 toneladas de freezers, 108 toneladas televisores, 1600 toneladas de computadores nas suas várias versões e 37 toneladas de celulares.

Por fim, pode-se afirmar que a metodologia apresentada, neste trabalho, embora ainda preliminar, pode ser aplicada a outros municípios brasileiros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACHILLAS, Ch; VLACHOKOSTAS, Ch; AIDONIS, D.; MOUSSIOPOULOS, N.; IAKOVOU, E.; BANIAS, G. Optimising Reverse Logistics Network To Support Policy-Making In The Case Of Electrical And Electronic Equipment. **Waste Management**, v. 30, p. 2592-2600. 2010.
2. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). **Quantidade de Acessos/ Plano de Serviço/Unidade de Federação**. Disponível em: <<http://sistemas.anatel.gov.br/SMP/Administracao/Consulta/AcessosPrePosUF/tela.asp?SISQSmodulo=18267>>. Acesso em 01 de setembro de 2014.
3. BRASIL. **Lei 12.305**, de 02 de agosto de 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 28 agosto 2014.
4. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Electronic Waste Management in The United States**. Approach 1 e 2. Estados Unidos, 2007.
5. FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV). **25a Pesquisa Anual do Uso de TI**. 2014.
6. FRANCO, R. G. F.; LANGE, L. C. Estimativa do fluxo dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, p. 73-82, 2011.
7. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010**. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em : 01 de setembro de 2014.
8. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD - 2011**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

9. LONDRINA - COMPANHIA MUNICIPAL DE TRÂNSITO E URBANIZAÇÃO (CMTU). **Lixo Zero**. 2013. Disponível em: <<http://www.cmtuld.com.br/index.php/component/content/article/175-uncategorised/7996-lixo-zero>>. Acesso em: 01 maio 2014.
10. XANTHOPOULOS, F . A Generic Analytical Quantitative Location Model For The Design Of A Reverse Supply Chain. **The Association of European Operational Research Societies**, p. 477–508. 2007.