

## VIABILIDADE DE SISTEMAS DE LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

Ingrid Jale da Silva Sales<sup>1</sup>  
Ricardo Gabbay de Souza<sup>2</sup>

### Reaproveitamento, Reutilização e Tratamento de Resíduos (sólidos e líquidos)

#### *Resumo*

Diversos estudos apontam o aumento da geração de resíduos eletroeletrônicos (REEE) e tal fato pode estar atrelado com o consumo cada vez mais elevado desses equipamentos. Além de possuírem algumas substâncias perigosas na sua constituição, existe muito interesse na recuperação dos elementos valiosos presentes nos REEE. Por esse motivo e por atendimento às questões legislativas, os atores do setor de eletroeletrônicos, se viram na necessidade de implantação de sistemas de logística reversa de REEE. Assim, a demanda por estudos que analisem a viabilidade da logística reversa dos REEE tornou-se frequente nos últimos anos em razão de auxiliarem na otimização desses sistemas, dando apoio às tomadas de decisão. Em virtude disto, o presente projeto propõe levantar os estudos sobre viabilidade de sistemas de logística reversa de REEE no Brasil e no mundo. Portanto, realizou-se uma busca em uma base de dados de artigos científicos, selecionando os artigos considerados relevantes ao tema de viabilidade de logística reversa de eletroeletrônicos. Posteriormente os artigos foram classificados quanto sua origem, tipo de eletroeletrônico estudado e tema da abordagem. Foi possível observar que a maioria dos artigos tratam a combinação dos assuntos de viabilidade, otimização, levantamento de critérios e custos de sistemas de logística reversa, sendo poucos identificados com uma única abordagem. Com isso, notou-se que apesar da complexidade dessa logística reversa é possível otimizar as ações para que se tornem sistemas factíveis, inspirando o aprofundamento nessa temática a fim de que novas alternativas sejam propostas.

Palavras-chave: Gestão de Resíduos; Lixo Eletrônico; Pré-tratamento

<sup>1</sup> Pós-graduanda em Engenharia Civil e Ambiental na Faculdade de Engenharia de Bauru, UNESP – Campus São José dos Campos, Departamento de Engenharia Ambiental, [ingrid.jale@gmail.com](mailto:ingrid.jale@gmail.com).

<sup>2</sup> Prof. Dr. UNESP – Campus São José dos Campos, Departamento de Engenharia Ambiental, [ricardo.souza@unesp.br](mailto:ricardo.souza@unesp.br).

## INTRODUÇÃO

A previsão de geração de resíduos eletroeletrônicos (REEE) para 2021 é de 52,2 milhões de toneladas de REEE no mundo. Com 1,5 milhões de toneladas em 2016 desse resíduo, o Brasil é o segundo maior gerador de REEE na América (BALDE et al., 2017; ISMAIL; HANAFIAH, 2020).

A Logística Reversa (LR) é um instrumento que estabelece ações para o retorno dos produtos após o uso pelo consumidor às empresas, tanto para o setor produtivo quando para destinação ambientalmente adequada. A viabilidade de implantação de sistemas de logística reversa de REEE tem se tornado um grande desafio. Os obstáculos podem ser os mais diversos, como a grande quantidade de variáveis que devem ser consideradas, as questões legais, as especificidades de cada região, além da heterogeneidade dos REEE existentes no mercado. Assim sendo, o presente trabalho tem como objetivo levantar os estudos sobre viabilidade de sistemas de logística reversa de resíduos eletroeletrônicos no Brasil e no mundo (JAUNICH et al., 2020; WANG et al., 2016, BRASIL, 2010).

## METODOLOGIA

Para a revisão sistemática dos artigos publicados relacionados ao tema, foi utilizada a base Scopus, buscando os termos chaves em três blocos. O conectivo *OR* foi empregado nos termos de um mesmo bloco e o conectivo *AND* para combinação dos três blocos, sendo eles: primeiro bloco: *WEEE, waste electrical and electronic equipment, e-waste*; segundo bloco: *takeback, take-back, reverse logistics, pre-treatment, pretreatment, dismatling*; e terceiro bloco: *feasibility, econom\*, social, costs e investment*.

A busca retornou uma quantidade de 242 documentos, optando por utilizar apenas artigos, reduzindo para 150 artigos. Após leitura do resumo, 1 artigo foi acrescentado e 23 artigos foram selecionados, resultando no total de 24 artigos. Essa seleção considerou artigos que abordam temas de viabilidade de sistemas de logística reversa e assuntos específicos, como levantamento de custos e critérios para implantação desses sistemas. Os artigos foram classificados em três temas distintos (Tabela 1):

**Tabela 1: Classificação dos temas dos artigos selecionados**

| 1<br>Origem | América | A           | 2<br>REEE    | Celulares | A              | 3<br>Foco | Viabilidade | A          |   |
|-------------|---------|-------------|--------------|-----------|----------------|-----------|-------------|------------|---|
|             |         | Ásia        |              | B         | Computadores   |           | B           | Custos     | B |
|             |         | Europa      |              | C         | Refrigeradores |           | C           | Crítérios  | C |
|             |         | Multipaíses |              | D         | Outros         |           | D           | Otimização | D |
|             |         |             | Generalizado | E         |                |           |             |            |   |

Por fim, foram organizados conforme a sua respectiva classificação, sendo que alguns artigos podem se enquadrar em mais de uma, como apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2: Organização dos artigos selecionados conforme classificação**

| <b>Autores</b>             | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>Autores</b>               | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> |
|----------------------------|----------|----------|----------|------------------------------|----------|----------|----------|
| Duflou et al., 2008        | D        | D        | A        | Souza et al., 2016           | A        | E        | ACD      |
| Melacini et al., 2010      | C        | E        | BD       | Shokouhyar; Aalirezaei, 2017 | B        | E        | CD       |
| Achillas et al., 2010      | C        | E        | BCD      | Oliveira Neto et al., 2017   | A        | E        | AB       |
| Achillas et al., 2011      | C        | E        | BD       | Dorneanu, 2017               | C        | D        | A        |
| Wang et al., 2011          | B        | E        | CD       | Azevedo et al., 2017         | A        | E        | CD       |
| Moussiopoulos et al., 2012 | C        | E        | BD       | Birich et al., 2018          | C        | E        | A        |
| Temur; Kahraman 2014       | C        | E        | ACD      | Elia et al., 2019            | C        | E        | D        |
| Souza et al., 2015         | A        | E        | C        | Abbondanza; Souza, 2019      | A        | E        | CD       |
| Yu; Solvang, 2016          | C        | E        | BD       | Wang et al., 2019            | B        | E        | D        |
| Guarnieri et al., 2016     | A        | E        | CD       | Chen et al., 2019            | C        | C        | CD       |
| Król et al., 2016          | C        | A        | D        | Otoni et al., 2020           | A        | E        | ACD      |
| Agrawal et al., 2016       | B        | E        | CD       | Liu et al., 2020             | B        | A        | A        |

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a revisão sistemática foi possível notar um aumento de estudos relacionados a esse tema nos últimos 10 anos. Geralmente, os artigos tratam a combinação dos assuntos de viabilidade, otimização, levantamento de critérios e custos de sistemas de LR, sendo pouco identificados com uma única abordagem.

As despesas com transporte e desmontagem de REEE são apontadas como grandes geradoras de custos para a LR. No caso da etapa de desmontagem no Brasil, por exemplo, é necessário um grande investimento em tecnologias ou altos gastos em transportes para recicladoras localizadas em outros países internacionais. (ACHILLAS et al., 2011; OLIVEIRA NETO et al., 2017; MOUSSIOPOULOS et al., 2012; OTTONI et al., 2020).

Para a análise da viabilidade desses sistemas, normalmente são considerados critérios econômicos, sociais e ambientais, auxiliando na elaboração da LR. Alguns dos

critérios adotados nas publicações são: população atendida, mapeamento de quantidade e distância dos pontos de coleta, proximidade dos pontos de coletas com recicladoras, tipo de indústrias de reciclagem, educação ambiental, competitividade, potencial econômico, geração de renda, entre outros (ACHILLAS et al., 2010; AZEVEDO et al., 2017; OTTONI et al., 2020; SHOKOUHYAR; AALIREZAEI, 2017; SOUZA et al., 2015).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do desafio na implantação de sistemas de LR de REEE, os estudos sobre a viabilidade desses sistemas têm tomado grandes proporções e aumentado nos últimos anos. Os artigos levantados permitem constatar que apesar da sua complexidade é possível otimizar as ações para que se tornem sistemas viáveis. Tal fato inspira futuros estudos, incentivando o aprofundamento nessa temática para proposta de novas alternativas.

## REFERÊNCIAS

- ABBONDANZA, M. N. M.; SOUZA, R. G. **Estimating the generation of household e-waste in municipalities using primary data from surveys: A case study of Sao Jose dos Campos, Brazil.** Waste Management, 2019.
- ACHILLAS, C. et al. **Decision support system for the optimal location of electrical and electronic waste treatment plants: A case study in Greece.** Waste Management, 2010.
- ACHILLAS, C. et al. **Electronic waste management cost: A scenario-based analysis for Greece.** Waste Management and Research, 2011.
- AGRAWAL, S.; SINGH, R. K.; MURTAZA, Q. **Prioritizing critical success factors for reverse logistics implementation using fuzzy-TOPSIS methodology.** Journal of Industrial Engineering International, 2016.
- AZEVEDO, L. P. et al. **E-waste management and sustainability: a case study in Brazil.** Environmental Science and Pollution Research, 2017.
- BALDE, C. P. et al. **The global e-waste monitor - 2017.** UNU, ITU & ISWA, 2017.
- BRASIL. **LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº9.605, de 12 e fevereiro de 1998; e dá outras providências, 2010.
- BIRICH, A.; RASLAN MOHAMED, S.; FRIEDRICH, B. **Screening of Non-cyanide Leaching Reagents for Gold Recovery from Waste Electric and Electronic Equipment.** Journal of Sustainable Metallurgy, 2018.
- CHEN, W.; KUCUKYAZICI, B.; SAENZ, M. J. **On the joint dynamics of the economic and environmental performances for collective take-back systems.** International Journal of Production Economics, 2019.
- DORNEANU, S. A. **Electrochemical recycling of waste printed circuit boards in bromide media. Part I: Preliminary leaching and dismantling tests.** Studia Universitatis Babeş-Bolyai

- Chemia, 2017.
- DUFLOU, J. R. et al. **Efficiency and feasibility of product disassembly: A case-based study.** CIRP Annals - Manufacturing Technology, 2008.
- ELIA, V.; GNONI, M. G.; TORNESE, F. **Designing a sustainable dynamic collection service for WEEE: an economic and environmental analysis through simulation.** Waste Management and Research, 2019.
- GUARNIERI, P.; E SILVA, L. C.; LEVINO, N. A. **Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: A Brazilian case.** Journal of Cleaner Production, 2016.
- ISMAIL, H.; HANAFIAH, M. M. **A review of sustainable e-waste generation and management: Present and future perspectives.** Journal of Environmental Management, 2020.
- JAUNICH, M. K. et al. **Life-cycle modeling framework for electronic waste recovery and recycling processes.** Resources, Conservation and Recycling, 2020.
- KRÓL, A.; NOWAKOWSKI, P.; MRÓWCZYŃSKA, B. **How to improve WEEE management? Novel approach in mobile collection with application of artificial intelligence.** Waste Management, 2016.
- LIU, J. et al. **Economic and environmental feasibility of hydrometallurgical process for recycling waste mobile phones.** Waste Management, 2020.
- MELACINI, M.; SALGARO, A.; BROGNOLI, D. **A model for the management of WEEE reverse logistics.** International Journal of Logistics Systems and Management, 2010.
- MOUSSIOPOULOS, N. et al. **Transportation cost analysis of the Hellenic system for alternative management of Waste Electrical and Electronic Equipment.** International Journal of Environment and Waste Management, 2012.
- OLIVEIRA NETO, G.; CORREIA; SCHROEDER. **Economic and environmental assessment of recycling and reuse of electronic waste: Multiple case studies in Brazil and Switzerland.** Resources, Conservation and Recycling, 2017.
- OTTONI, M.; DIAS, P.; XAVIER, L. H. **A circular approach to the e-waste valorization through urban mining in Rio de Janeiro, Brazil.** Journal of Cleaner Production, 2020.
- SHOKOUHYAR, S.; AALIREZAEI, A. **Designing a sustainable recovery network for waste from electrical and electronic equipment using a genetic algorithm.** International Journal of Environment and Sustainable Development, 2017.
- SOUZA, R. G. et al. **Definition of sustainability impact categories based on stakeholder perspectives.** Journal of Cleaner Production, 2015.
- SOUZA, R. G. et al. **Sustainability assessment and prioritisation of e-waste management options in Brazil.** Waste Management, 2016.
- TEMUR, GÜL TEKIN; KAHRAMAN, T. K. A. C. **Facility Location Selection in Reverse Logistics Using a Type-2 Fuzzy Decision Aid Method.** Supply Chain Management Under Fuzziness, 2014.
- WANG, S.; LI, W. D.; XIA, K. **Customized disassembly and processing of waste electrical and electronic equipment.** Manufacturing Letters, 2016.
- WANG, X.; ZHANG, K.; YANG, B. **Optimal design of reverse logistics network on e-waste in Shanghai.** International Journal of Networking and Virtual Organisations, 2011.
- WANG, Y. et al. **Managing supplier-manufacturer closed-loop supply chain considering product design and take-back legislation.** International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019.
- YU, H.; SOLVANG, W. D. **A stochastic programming approach with improved multi-criteria scenario-based solution method for sustainable reverse logistics design of waste electrical and electronic equipment (WEEE).** Sustainability (Switzerland), 2016.