

## Proposta de rede de logística reversa para pilhas e baterias

### *Reverse logistics network proposal for batteries*

#### **Resumo**

O objetivo desse trabalho é desenvolver o planejamento de uma rede logística reversa para o consumo de pilhas e baterias nas cidades de Bauru, Pederneiras e Macatuba, localizadas no estado de São Paulo. Para isso, foram aplicados os métodos de centro de gravidade juntamente com o modelo matemático do caixeiro viajante para propor a localização do centro de distribuição e as rotas municipais de coleta dos resíduos. Os resultados mostraram que o centro de distribuição deve ser localizado próximo à Bauru, cidade com maior geração de resíduos. A distância total das rotas foi minimizada, resultando em 56 km para Bauru, 9,75 km para Pederneiras e 9,45 para Macatuba. Dessa forma, as rotas proposta podem ser adotadas pelas prefeituras locais para gerenciar a logística reversa de pilhas e baterias, além de promover a integração entre as cidades da região.

**Palavras-chave:** Caixeiro viajante; resíduos eletroeletrônicos; logística reversa.

#### **Abstract**

*This paper has the objective of developing the planning of a reverse logistics network for the consumption of batteries in the cities of Bauru, Pederneiras, and Macatuba. These cities are located in the state of São Paulo. For this, the center of gravity methods was applied together with the mathematical model of the traveling salesman to propose the location of the distribution center and the municipal waste collection routes. The results showed that the distribution center must be located near Bauru, the city with the highest generation of waste. The total distance of the routes was minimized, resulting in 56 km for Bauru, 9.75 km for Pederneiras, and 9.45 for Macatuba. Thus, the proposed routes can be adopted by local city governments to manage the reverse logistics of batteries, as well as promoting the integration between the cities of the region.*

**Keywords:** *Travelling Salesman Problem; electrical and electronic waste; reverse logistics.*

## 1. Introdução

A política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) de 2010 estabelece a responsabilidade de todos os atores no ciclo de vida do produto. Mendonça e Bornia (2019) estabelecem a importância do aproveitamento energético dos resíduos sólidos para o planejamento das questões estratégicas sustentáveis de uma empresa, garantindo soluções economicamente viáveis e ambientalmente seguras. Isto implica no conhecimento da rede logística e na integração entre todas as partes envolvidas no processo. A logística reversa é definida pela PNRS como um conjunto de métodos para reaproveitamento ou destinação adequada dos resíduos (BRASIL, 2010; BARAUNA et al., 2017; SOUSA, HAMMES e RODRIGUEZ, 2018).

O problema de gerenciamento de resíduos é um agravante que atinge não somente o Brasil, mas sim uma situação a ser enfrentada por todos os países, conforme descrito por Mallawarachchi e Karunasena (2012). Jabbour et al. (2014) apontam que as regulações no descarte de resíduos tendem a gerar oportunidades e demandas de trabalho. Os autores também mencionam a necessidade de planos de gerenciamento dos resíduos.

Em se tratando do resíduo de pilhas e baterias, constitui-se de um cenário em que, cresce-se a geração partindo principalmente do crescimento do setor eletroeletrônico, componente principal que utiliza deste material. É fato que o ciclo de vida destes produtos tende a ficar mais curto, mostrando-se viável as questões mercadológicas, aumentando o faturamento de vendas das empresas. A partir disso surge a problemática do que fazer e como tratar os resíduos destes materiais.

De acordo com Fecomercio (2019), no Brasil, são comercializadas aproximadamente 1,2 bilhão de pilhas por ano e 400 milhões de baterias. Isto equivale a 6 pilhas e 2 baterias por habitante produzidas e comercializadas todos os anos. Grande parte das pilhas e baterias descartadas são jogadas no lixo comum sem nenhum tratamento técnico específico. Isto implica na necessidade de um projeto de logística reversa adequado, que viabilize o retorno destes materiais para o destino ambientalmente correto. Portanto, a melhorar maneira de atenuar estes problemas é destinando corretamente estes resíduos.

O presente artigo apresenta o estudo de caso referente à coleta de pilhas e baterias. Foram consideradas 3 cidades na 7ª região administrativa do interior do estado de São Paulo. De acordo com o IBGE (2019), Bauru, Pederneiras e Macatuba possuem respectivamente 376818, 46687 e 17013 municípios. Vale ressaltar que o termo resíduo é comumente usado durante o texto para se referenciar as pilhas e baterias.

## 2. Métodos

Esta seção apresenta o referencial teórico referente aos dois métodos utilizados para o desenvolvimento da rede de logística reversa proposta. O método do centro de gravidade foi utilizado para determinar a localidade de um centro de distribuição, enquanto a determinação dos trajetos de coleta municipais foi possível após modelar as rotas de cada município pelo modelo matemático do caixeiro viajante.

### 2.1 Método do centro de gravidade

Segundo Ballou (2009), este método determina a localização de um ponto de armazenagem a partir de coordenadas cartesianas, considerando a quantidade obtida em cada cidade e o custo de transporte. Bowersox e Closs (2001) apontam que este método pode considerar também peso e volume como fatores de decisão para encontrar o menor custo de transporte.

Pamplona, Fortes e Alves (2014) aplicam o método do centro de gravidade para descobrir a melhor localização para instalações de manutenção aeronáutica. Os autores determinaram a localização da instalação e apontaram que o método pode indicar lugares desprovidos de infraestrutura para a operação, o que implica na adaptação por parte do gestor responsável. A localização cartesiana do centro de gravidade é determinada pelas Equações (1) e (2).

$$X = \frac{\sum Q_i * C_i * X_i / d_i}{\sum Q_i * C_i / d_i} \quad (1)$$

$$Y = \frac{\sum Q_i * C_i * Y_i / d_i}{\sum Q_i * C_i / d_i} \quad (2)$$

As variáveis  $C_i$  e  $Q_i$  correspondem respectivamente à quantidade e ao custo de transporte do resíduo da cidade  $i$  para o centro de distribuição. A variável  $d_i$  corresponde a distância do centro de distribuição em relação a cada uma das cidades.

Vale ressaltar que o método é iniciado com as equações 1 e 2 sem o parâmetro  $d_i$ , uma vez que não é possível determinar as distâncias sem conhecer a localização. Após se obter a localização, as equações 1 e 2 são aplicadas em sua integralidade.

O método continua em um processo iterativo, pois cada vez que um novo valor de  $X$  e  $Y$  são descobertos, é possível atualizar  $d_i$  e aplicar nas Equações 1 e 2. O método termina quando os valores de  $X$  e  $Y$  no processo iterativo começam a convergir.

## 2.2 Caixeiro viajante

A determinação da menor rota entre várias localidades pode ser determinada por um modelo matemático que representa o problema do caixeiro viajante (ARENALES et al., 2015). Este modelo consiste em determinar a menor rota de um conjunto de localidades respeitando alguns critérios:

- Cada localidade deve ser visitada uma única vez.
- Toda localidade deve participar da rota.
- A distância total a ser percorrida deve ser minimizada.

Rahim e Sepil (2014) estudam o problema da reciclagem de vidros com relação ao fluxo a ser percorrido na logística reversa. Os autores lidam com o modelo do caixeiro viajante e determinam a rota a serem percorrida diariamente por um caminhão de coleta de forma que a distância total do percurso seja minimizada.

O modelo matemático para o problema do caixeiro viajante possui a variável de decisão  $X_{ij}$  que assume valor 1 se o trajeto é percorrido da localidade  $i$  para a localidade  $j$ , ou 0 caso contrário. O parâmetro  $C_{ij}$  representa a distância da localidade  $i$  para a localidade  $j$ . O número de localidades é dado por  $m$ , enquanto  $S$  representa qualquer subconjunto do trajeto. Assim, o modelo matemático é representado por:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = 1, i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = 1, j = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \leq |S| - 1, S = 2, \dots, m - 2 \quad (4)$$

$$X_{ij} = 1 \text{ ou } 0, i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, m \quad (5)$$

A função objetivo (1) minimiza a distância total do trajeto, o conjunto de restrições (2) faz com que toda origem  $i$  seja destinada a um destino  $j$ , assim como o conjunto de restrições (3) faz com que todo destino  $j$  leve a uma origem  $i$ . No entanto, as restrições (2) e (3) não impedem que ocorra a formação de 2 ou mais trajetos não interligados entre si. Para isso, é necessário acrescentar o conjunto de restrições (4) chamado de restrições de sub-rotas. Estas restrições garantem que apenas uma rota será obtida como solução final. As restrições (5) determinam as variáveis de decisão do modelo matemático como binárias.

### 3. Estudo de caso

As cidades consideradas neste trabalho fazem parte da 7ª região administrativa do interior do estado de São Paulo, sendo elas Bauru, Pederneiras e Macatuba. De acordo com o IBGE (2019), Bauru, Pederneiras e Macatuba possuem respectivamente 376818, 46687 e 17013 munícipes.

A estimativa da quantidade de resíduo a ser coletado em 2019 para as 3 cidades analisadas foi obtida a partir de informações fornecidas pelas prefeituras e por aproximações considerando o número de habitantes de outras cidades.

A prefeitura de Pederneiras apresentou a quantidade coletada de pilhas e baterias no ano de 2015, totalizando 292kg de resíduo com uma população de 44910 habitantes. Esta quantidade foi projetada proporcionalmente a partir do crescimento populacional para 2019, alcançando 303kg.

A prefeitura de Bauru apresentou a quantidade coletada em 2013 pelos sete Ecopontos da cidade, conforme em Semma (2013). No entanto, esta quantidade não considera os demais pontos de coleta, como supermercados, departamentos públicos e etc, o que inviabiliza a utilização deste dado. Sendo assim, a estimativa da geração de resíduos de Bauru foi calculada proporcionalmente a partir da estimativa de resíduos de Pederneiras para 2019, levando em conta a diferença de habitantes entre as duas cidades, o que resulta em 2450kg de resíduos coletados em 2019 em Bauru.

Por fim, a prefeitura de Lençóis Paulista apresentou a quantidade de resíduo coletada no ano de 2017 em Diretoria de Meio ambiente (2017), totalizando 2 toneladas. Este volume de resíduo inclui 5 cidades, entre elas Macatuba, o que possibilita realizar a estimativa de distribuição deste volume para as 5 cidades conforme a quantidade de habitantes. A Tabela 1 apresenta esta distribuição.

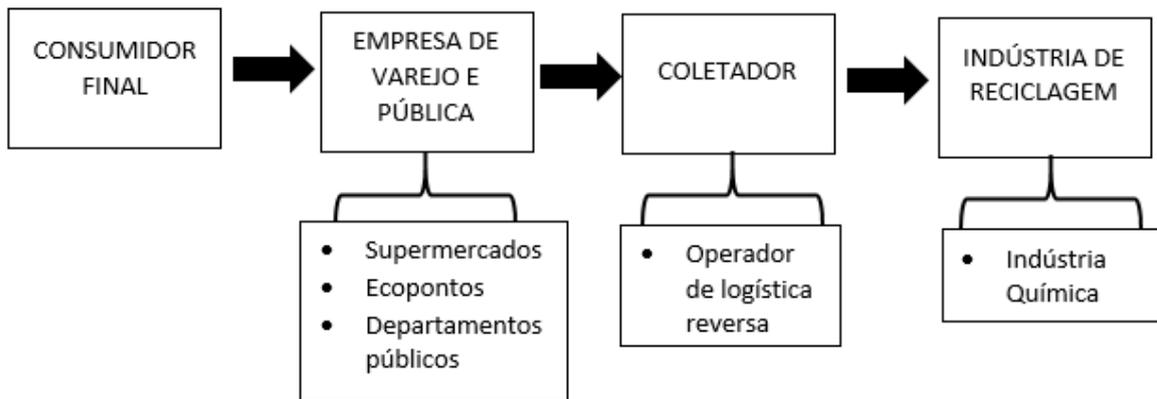
Cidade	Habitantes	Estimativa quantidade (kg) - 2017
Lençóis Paulista	68432	795
Pederneiras	46687	542
Macatuba	17163	199
Agudos	37214	432
Borebi	2653	31
<b>Total</b>	172149	2000

**Tabela 1: Estimativa da distribuição dos resíduos pilhas e baterias em Macatuba. Fonte: elaborado pelos autores.**

As destinações adequadas para o descarte do resíduo em Bauru, Pederneiras e Macatuba são supermercados, ecopontos, departamentos públicos, e etc. Existem demais localidades, como papelarias e postos de gasolina, mas estes foram omitidos para uma melhor apresentação do trabalho.

Os ecopontos são áreas públicas criadas pela prefeitura onde os moradores da cidade podem destinar os resíduos para que estes não sejam direcionados ao lixo comum. Produtos como entulho, pneus, eletrodomésticos, lâmpadas, pilhas e baterias podem ser destinados e recebem o tratamento adequado.

O fluxo do processo do descarte do resíduo está demonstrado na Figura 1. O **consumidor** destina o resíduo aos pontos de coleta, neste caso **empresas de varejo e públicas**. O **coletador** entra em contato com a empresa responsável pelo transporte obter uma quantidade mínima do resíduo, o qual é destinado para a **indústria de reciclagem**. Vale ressaltar que as prefeituras das 3 cidades analisadas não realizam o tratamento do resíduo, o qual fica em responsabilidade da indústria de reciclagem.

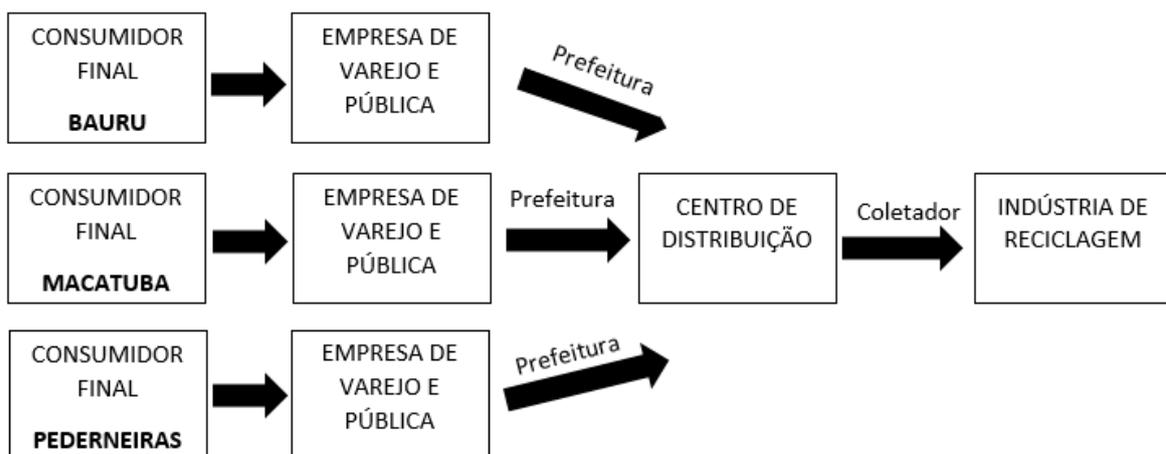


**Figura 1: Atores do fluxo logístico da reciclagem de pilhas e baterias. Fonte: elaborado pelos autores.**

Os pontos de coleta foram obtidos para as 3 cidades consideradas. Em Bauru, foram considerados 8 ecopontos, 9 supermercados e 6 departamentos públicos. Em Pederneiras foram considerados 1 ecoponto, 3 supermercados e 2 departamentos públicos. Em Macatuba, no entanto, é inexistente a presença de um ecoponto, e, portanto, apenas 2 supermercados e 2 departamentos públicos foram considerados.

#### 4. Resultados e discussões

Os resultados deste trabalho possibilitaram estabelecer um novo fluxo de logística reversa e conhecer a melhor rota de coleta das pilhas e baterias para cada um dos 3 municípios: Bauru, Pederneiras e Macatuba. Adicionalmente, foi determinada a localização de um centro de distribuição para armazenar os resíduos coletados até que uma quantidade mínima seja atingida. A Figura 2 exibe o novo fluxo proposto de logística reversa.



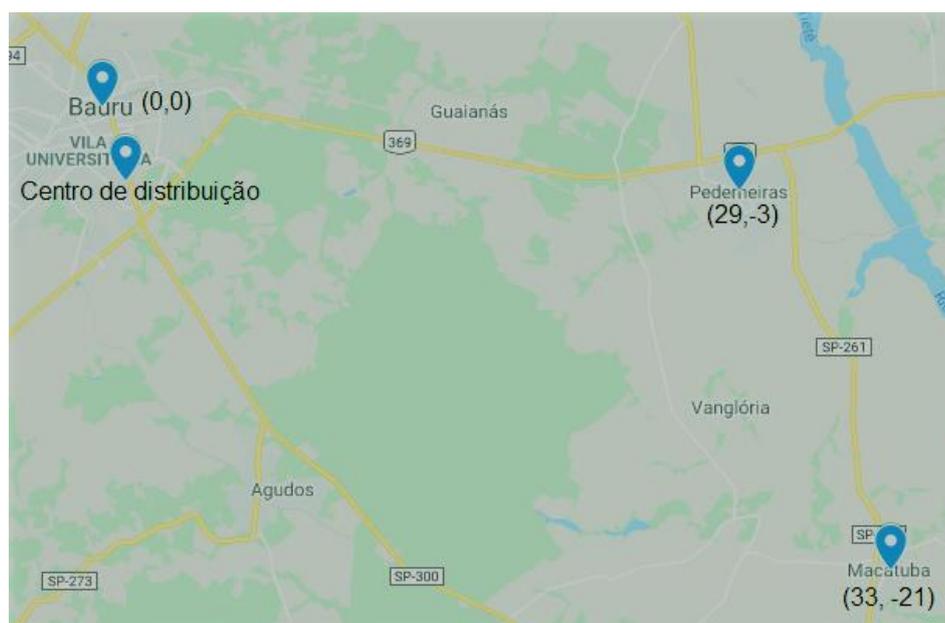
**Figura 2: Proposta do fluxo logístico da reciclagem de pilhas e baterias. Fonte: elaborado pelos autores.**

O fluxo proposto é similar ao fluxo já existente apresentado na Figura 1. Os **consumidores finais** mantêm a destinação dos resíduos para as **empresas de varejo e públicas**. Após isso, a prefeitura do município realiza a coleta dos resíduos municipais e encaminha para um **centro de distribuição** localizado em uma das 3 cidades analisadas. Quando o resíduo coletado pelo centro de distribuição atinge uma quantidade pré-determinada, o coletador é contatado para direcionar o resíduo para a **indústria de reciclagem**.

#### 4.1 Centro de distribuição

A localização do centro de distribuição foi determinada a partir do método do centro da gravidade, conforme apresentado em Ballou (2009). As coordenadas cartesianas foram obtidas considerando Bauru como o ponto (0,0), o que resultou em Pederneiras (29, -3) e Macatuba (33, -21).

A Figura 3 exibe a localização do centro de distribuição. Um total de 5 iterações foram necessárias para que o método convergisse, resultando no centro de distribuição em (0,0). Este resultado já era esperado dado que Bauru possui a maior quantidade de resíduo a ser coletada.



**Figura 3: Proposta da localização do centro de distribuição. Fonte: elaborado pelos autores.**

A determinação das rotas municipais foi realizada utilizando o modelo matemático do problema do caixeiro viajante através do software OpenSolver. A Figura 4 exibe a visualização das rotas propostas para Bauru, enquanto as rotas de Pederneiras e Macatuba são apresentadas nas Figuras 5 e 6 respectivamente.

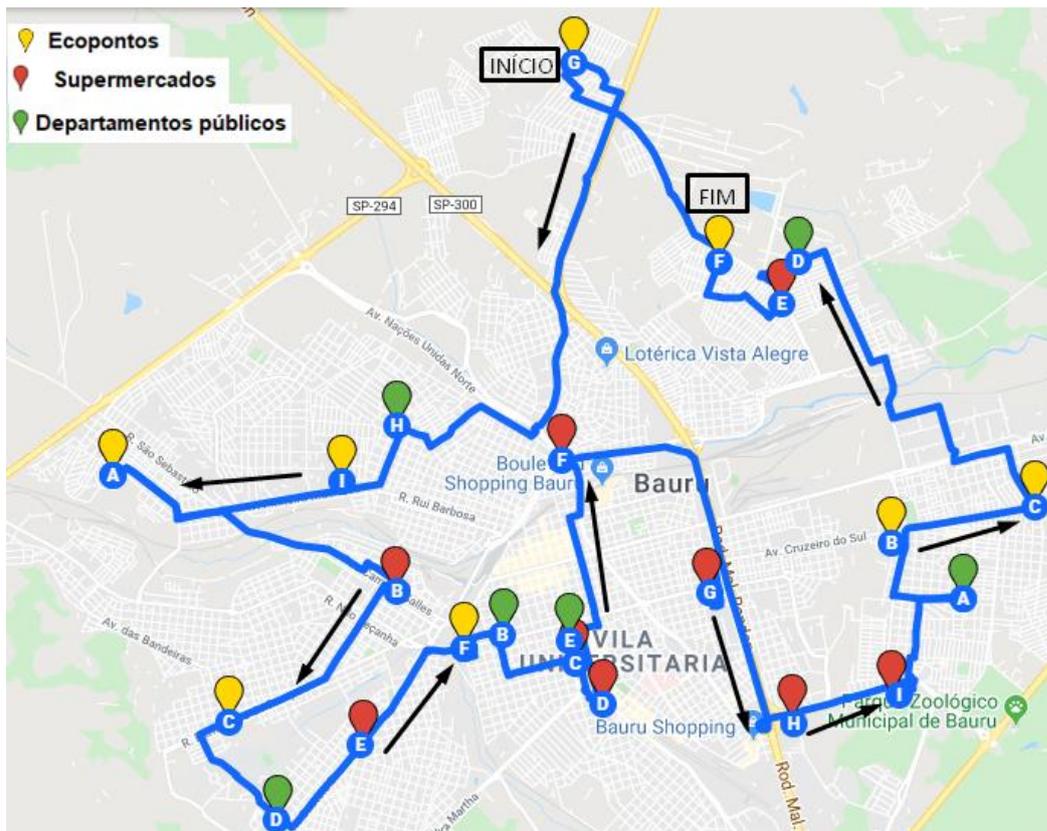


Figura 4: Rota dos pontos de coleta em Bauru. Fonte: elaborado pelos autores.



Figura 5: Rota dos pontos de coleta em Pederneiras. Fonte: elaborado pelos autores.

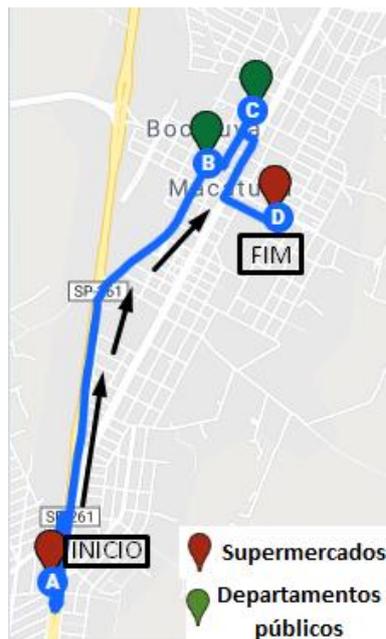


Figura 6: Rota dos pontos de coleta em Macatuba. Fonte: elaborado pelos autores.

A distância total dos trajetos foi minimizada, resultando em 56 km para Bauru, 9.75 km para pederneiras e 9.45 km para Macatuba. A escolha ideal das rotas resulta em benefícios financeiros através da economia de combustível e tempo, benefícios ambientais com a redução da poluição por parte dos veículos e benefícios sociais com a contratação de equipes responsáveis pela coleta.

## 5. Conclusões

O presente artigo teve como objetivo planejar a rede de logística reversa de pilhas e baterias para as cidades de Bauru, Pederneiras e Macatuba visando minimizar a distância percorrida nas rotas de coleta.

Referente ao aperfeiçoamento dos canais reversos, é importante salientar o processo de inserção de todos os atores da cadeia reversa. Segundo Leite (2009) as pilhas e baterias estão enquadradas nos canais de distribuição reversos de pós consumo, isto é, produtos utilizados em sua totalidade. A dificuldade na obtenção dos dados, bem como a falta de controle dos resíduos por parte dos atores, dificulta o desenvolvimento do projeto, o que deve ser aprimorado continuamente pelos participantes da logística reversa.

A criação de ecopontos é uma atividade necessária para conscientizar o descarte de resíduos por parte da população. Uma das cidades analisadas ainda não apresentou esta iniciativa, mas já possui pontos de descarte incentivados pela prefeitura local. No entanto, os ecopontos permitem o descarte de uma gama maior de resíduos que acabariam sendo direcionados para o lixo comum.

Além disso, a proposição da criação de um centro de distribuição em Bauru para as 3 cidades economiza com o transporte, visto que as pilhas e baterias podem ser armazenadas localmente e, apenas quando atingirem uma quantidade aceitável, serem transportadas para a empresa de reciclagem.

Os processos de coleta por parte das prefeituras devem ser padronizados e ocorrerem rotineiramente por meio das rotas propostas. Isso implica no emprego de novos funcionários como motoristas e guardas do centro de distribuição, o que incentiva a economia local. O benefício social é apontado por Manzini e Vezzoli (2011) que citam que soluções ambientais devem também acompanhar benefícios culturais e sociais. Mendonça e Bornia (2010) acrescentam que a inclusão da gestão de resíduos sólidos no planejamento dos estados pode criar empregos, renda e inclusões sociais.

Para estudos futuros recomenda-se o estudo da viabilidade econômica da implantação do centro de distribuição, operacionalização das rotas propostas e um maior número de cidades a serem consideradas na região.

## Referências

- ARENALES, M., MORABITO, R., ARMENTANO, V., & YANASSE, H. Pesquisa operacional: para cursos de engenharia. Elsevier Brasil, 2015.
- BALLOU, R. H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Logística Empresarial. Bookman Editora, 2009.
- BARAUNA, D.; SOUSA, S.; TREIN, F.; RAZERA, D. Design para a sustentabilidade na economia de materiais: uso de resíduos no desenvolvimento de produtos. *Mix Sustentável*, v. 3, n. 3, p. 113-122, 2017.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS D. J. Logística Empresarial. São Paulo: Atlas, 2001
- BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010.
- DIRETORIA DE MEIO AMBIENTE. Disponível em: <<http://www2.lencoispaulista.sp.gov.br/v2/noticia/4310/diretoria-de-meio-ambiente-faz-coleta-de-pilhas-e-baterias-usadas.html>>. Acesso em 15 de Nov. de 2019.
- FECOMERCIO. Logística Reversa. Disponível em: <<https://www.fecomercio.com.br/sustentabilidade>> Acesso em 27 de Nov. de 2019.
- HAMMES, G.; SOUZA, E. D.; RODRIGUEZ, C. M. T. ECO-DESIGN E LOGÍSTICA REVERSA: UMA INVESTIGAÇÃO SOBRE A AFINIDADE EXISTENTE ENTRE OS TERMOS. *MIX Sustentável*, v. 4, n. 2, p. 79-86, 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em 8 de Nov. de 2019.
- JABBOUR, A. B. L. S.; 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, n. 1, p. 7-9, 2014.
- MALLAWARACHCHI, H.; KARUNASENA, G. (2012) Electronic and electrical waste management in Sri Lanka: suggestions for national policy enhancements. *Resources, Conservation and Recycling*, 68:44–53
- MANZINI, E.; VEZZOLI, C. O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Edusp, 2011.

MENDONÇA, A K. S.; BORNIA, A. C. APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: ANÁLISE DAS POLITICAS PUBLICAS. MIX Sustentável, v. 5, n. 2, p. 109-122, 2019.

PAMPLONA, D. A.; FORTES, J. L.C.; ALVES, C. J. P. Consolidação de instalações de manutenção aeronáutica pela utilização do Método do Centro de Gravidade. Scientia Plena, v. 10, n. 9, 2014

PREFEITURA DE LENÇÓIS PAULISTA. Disponível em:  
<http://www2.lencoispaulista.sp.gov.br/v2/noticia/4310/diretoria-de-meio-ambiente-faz-coleta-de-pilhas-e-baterias-usadas.html>. Acesso em 15 de Nov. de 2017.

RAHIM, F.; SEPIL, C. A location-routing problem in glass recycling. Annals of Operations Research, v. 223, n. 1, p. 329-353, 2014.

SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE (SEMMA). Disponível em:  
<<http://www2.bauru.sp.gov.br/Materia.aspx?n=15618>>. Acesso em 25 de Out. de 2015.