



OTIMIZAÇÃO DAS ROTAS DA COLETA SELETIVA DO MUNICÍPIO SEDE DE OURO PRETO/MG

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.7.24.X-001>

Vinícius do Sacramento Gallisa (*), Marina de Medeiros Machado, Rayane Raíssa Geralda Vírgilio das Dores, Fernanda Rafaela Canuto Silva, Tamara Daiane de Souza

* Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), E-mail: vinicius.gallisa@aluno.ufop.edu.br

RESUMO

A prática da coleta seletiva contribui para o desvio de resíduos sólidos encaminhados aos aterros sanitários, o que, consequentemente, otimiza as práticas de proteção ao meio ambiente. O trabalho apresenta um estudo que teve por seu objetivo propor estratégias de otimizações das rotas de coleta seletiva no município sede de Ouro Preto/MG. Com isso foi realizado um levantamento de dados para diagnosticar a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos atual e propor um modelo dos percursos, visando apresentar estratégias para otimização das rotas de coleta seletiva. Foram identificadas as condições de coleta atual, levando em consideração o percurso e o atendimento à população da cidade. À vista disso, foram verificadas as não conformidades existentes e foram propostas rotas para a atuação de duas Associações de Catadores, ACMAR (Associação de Catadores de Materiais Recicláveis da Rancharia) e ACPF (Associação de Catadores do Padre Faria), que executam a coleta seletiva do município. Utilizando o *software* ARCGIS, foram executadas rotas otimizadas a partir de critérios pré-estabelecidos, onde idealizou-se uma distribuição mais equitativa do destino final dos resíduos recicláveis. Pode-se afirmar que adotar uma reformulação nas rotas, pode ser eficiente para a redução de emissão de CO₂ e apresentam ganhos econômicos. Conclui-se que o município de Ouro Preto/MG pode atingir uma geração de aproximadamente 13.590 kg de materiais recicláveis diariamente, diante disso, para que o serviço de coleta seja otimizado é primordial o apoio do município e a execução de campanhas de educação ambiental para incentivar a participação de toda a população na coleta seletiva municipal.

PALAVRAS-CHAVE: Coleta de resíduos sólidos, Coleta Seletiva, Planejamento, Roteirização, Ouro Preto/MG.

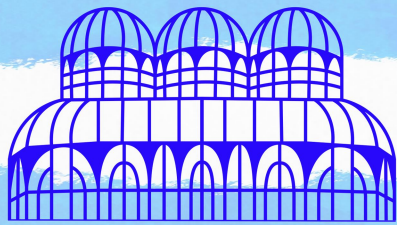
ABSTRACT

The practice of selective waste collection significantly reduces the amount of solid waste sent to landfills, thereby enhancing environmental protection efforts. This study focuses on proposing strategies to optimize selective waste collection routes in the town of Ouro Preto, located in the state of Minas Gerais, Brazil. To achieve this goal, we conducted a comprehensive data collection to assess the current management of solid waste and to devise a model for collection routes, with the aim of introducing strategies for their optimization. Current collection conditions, considering factors such as the routes taken and the coverage of services provided to the town's residents were identified. Subsequently, non-conformities were verified and proposed new routes for the operation of two Waste Pickers Associations: ACMAR (Association of Recyclable Materials Collectors of Rancharia) and ACPF (Association of Collectors of Padre Faria), which are responsible for conducting selective waste collection activities in the town. By utilizing the ARCGIS software, optimized routes based on predetermined criteria were generated, aiming for a more equitable distribution of recyclable waste to its final destinations. It is worth noting that implementing a restructured collection system not only proves effective in reducing CO₂ emissions but also yields economic benefits. In conclusion, research suggests that the town of Ouro Preto has the potential to generate approximately 13,590 kg of recyclable materials daily. To ensure the optimization of waste collection services, it is imperative for the municipal authorities to provide support and launch environmental education campaigns to encourage the active participation of the entire population in selective waste collection initiatives.

KEY WORDS: Solid waste collection, Selective Collect, Planning, Waste routing, Ouro Preto/MG.

INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos são originados das diversas atividades humanas realizadas diariamente. Assim sendo, os resíduos compreendem uma gama de materiais como garrafas, restos de comidas, sucatas, baterias, além de outros que são introduzidos no



7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

meio ambiente. Ademais, o crescimento populacional se apresenta como componente importante para o aumento da geração de resíduos anualmente (CALLIJURI; CUNHA, 2013).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos versa a respeito da ordem de prioridade na gestão e gerenciamento. Desta maneira, o Art.9º aborda a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). Dentre os problemas atuais enfrentados pela gestão dos resíduos sólidos estão a falta de cobertura e/ou adesão às iniciativas de coleta seletiva pelos municípios brasileiros (BARBOSA; IBRAHIN, 2014). Menciona-se que a coleta seletiva é apontada como a coleta de resíduos previamente segregados consonante a sua constituição e composição sujeitos a serem introduzidos ao processo de reciclagem viabilizando a reintrodução na cadeia produtiva no que diz respeito a matéria prima (BRASIL, 2010).

No Brasil, a coleta dos materiais recicláveis se estabelece através de um componente social, as Associações/Cooperativas de catadores de materiais recicláveis. Ao longo dos anos, os catadores autônomos perceberam a importância de criarem movimentos nacionais. Deste modo, as iniciativas foram importantes para os catadores, uma vez que lhe proporcionaram um reconhecimento por meio da Classificação Brasileira de Ocupações (FONTÃO; OLIVEIRA, 2020).

O município sede de Ouro Preto/MG possui duas Associações de catadores de materiais recicláveis, a Associação de Catadores de Materiais Recicláveis da Rancharia (ACMAR) e a Associação de Beneficiamento e Reciclagem do Lixo e Meio Ambiente e Preservação Ambiental (ACPF) que executam as atividades de coleta e triagem dos materiais recicláveis, por meio de um termo de cooperação entre o poder público municipal e as próprias Associações.

Os dados relativos ao SNIS de 2021 revelaram que a coleta seletiva no município de Ouro Preto/MG quantificou 222,9 toneladas no ano coletadas. No entanto, a taxa de cobertura representou 9,99 % do atendimento porta-a-porta (BRASIL, 2021). De modo a oportunizar a ampliação da coleta dos materiais recicláveis, bem como a otimização das rotas de coleta é primordial a introdução de ferramentas que objetivam a redução de custos, sendo através de otimização do tempo de coleta ou de distâncias menores percorridas. Desta forma, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) executam um papel essencial na otimização de rotas dos veículos, viabilizando as alternativas de rotas e buscando percursos eficientes (VARANDA, 2015). Por conseguinte, este trabalho propõe aprimorar as rotas da coleta seletiva do município sede Ouro Preto/MG, por meio da utilização do ARCGIS/QGIS para que tenha seja possível uma ampliação na taxa de cobertura e proporcione maior adesão à coleta seletiva no município.

OBJETIVOS

Assim sendo, este estudo tem por objetivo propor estratégias de otimização das rotas de coleta seletiva no município sede de Ouro Preto/MG. Por conseguinte, também desenvolveu-se objetivos específicos que foram:

- ✓ Diagnosticar as atuais rotas de coleta seletiva do município;
- ✓ Identificar potencialidades de melhorias nas rotas de coleta seletiva existentes;
- ✓ Estimar parâmetros representativos de influência na otimização das rotas de coleta seletiva do município sede;
- ✓ Determinar a emissão de carbono em gramas de CO₂ e CO através do estabelecimento das rotas de coleta seletiva otimizadas.

METODOLOGIA

Com o propósito de compreender o estudo realizado, foram utilizados mapas, diagnósticos, relatórios detalhados do município sede de Ouro Preto/MG com informações sobre ruas, estradas, bairros, áreas residenciais e dados do gerenciamento de resíduos sólidos do SNIS. Com o propósito de identificar as potencialidades de melhorias foi realizado o acompanhamento por uma série de dias, em determinadas rotas de coleta seletiva, simultaneamente com visitas às Associações de Catadores de Materiais Recicláveis. Em seguida, para a proposição das rotas dividiu-se a coleta dos materiais recicláveis de modo mais igualitário possível para as duas Associações de Catadores de Materiais Recicláveis do município, ACMAR e ACPF, considerando também a localização geográfica de ambas as Associações. Assim sendo, empregou-se ferramentas de *software* em geoprocessamento do ARCGIS com o propósito de auxiliar na elaboração e análise de rotas otimizadas. As ferramentas utilizadas foram do *Network Analyst*, onde efetuou-se a realização das rotas seguindo os modelos do caixairo viajante e carteiro chinês, buscando percursos mais curtos e eficientes do ponto de vista da roteirização (Figura 1). Adicionou-se pontos em locais de passagens da coleta, e as ferramentas do ARCGIS executaram as rotas por meio das proximidades entre os pontos, certa vez que se considerou prioritariamente a coleta em locais de declividade mais elevadas.

Na intenção de definir a estimativa dos parâmetros de influência na otimização das rotas foram apontados determinados procedimentos essenciais para obter um alcance adequado, entre eles estão a divisão de rotas de coleta seletiva de materiais recicláveis entre as duas Associações de catadores, levando em consideração a proximidade entre os bairros e associações, levando em consideração a simulação das rotas, o quantitativo de resíduos determinado pela composição gravimétrica e pela produção per capita, e também custo de combustíveis dos caminhões.

Para que fosse determinada a quantidade de emissão de carbono em gramas de CO₂, utilizou-se a tabela de atributos do ARCGIS para obter os dados relativos à quilometragem das rotas utilizando o *software* ARCGIS. Sendo assim,

juntamente com informações em estudos acadêmicos e o método ARTEMIS, foi possível encontrar o valor médio das emissões de caminhões de resíduos.

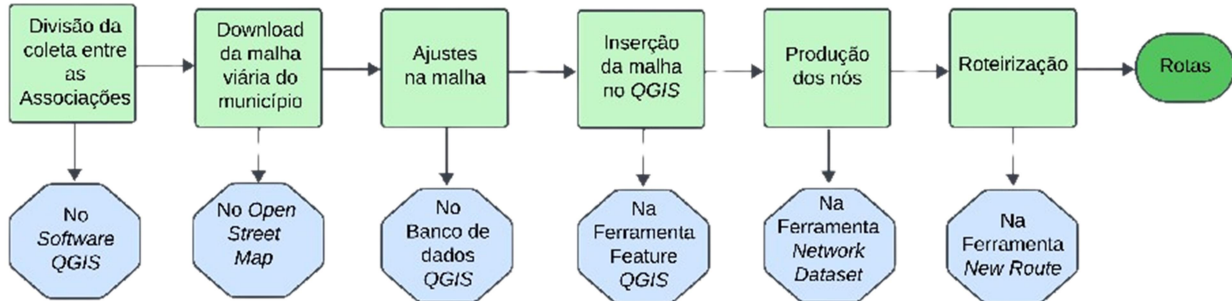


Figura 1: Fluxograma até a obtenção das Rotas. Fonte: Autores do trabalho (2024).

RESULTADOS

Os resultados referentes à situação atual da coleta dos materiais recicláveis permitiram compreender as possíveis melhorias para a coleta dos materiais recicláveis no município de Ouro Preto/MG, bem como alcançar os parâmetros de influência em relação às propostas para as rotas de coleta seletiva.

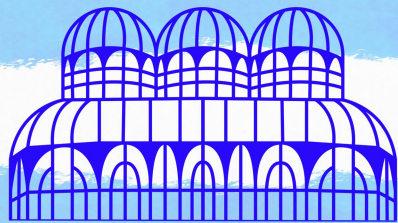
No que diz respeito às potencialidades de melhorias da coleta seletiva, assim como de suas rotas, apontou-se sugestões do que pode vir a ser realizado no município por meio da coleta, considerando suas respectivas normas e legislações pertinentes para analisar as não conformidades do modelo da coleta seletiva realizado (Quadro 1).

Quadro 1: Não conformidades observadas. Fonte: Autores do Trabalho (2024).

Não Conformidade	Justificativa	Como melhorar?	Responsáveis
Falta de cobertura da coleta seletiva no município	Lei n.º 12.305 de 2010, da Política Nacional dos Resíduos Sólidos	Aquisições de caminhões, contratação de catadores, novas rotas	Poder público municipal
Não acondicionamento correto dos resíduos	NBR 11.174 - Armazenamento dos Resíduos (Classe II - não inertes)	Contratação de catadores, aquisição de dispositivos para acondicionamento dos resíduos	Associações de Catadores de materiais recicláveis
Ações de educação ambiental não sendo tão eficazes na promoção de mudanças comportamentais da população	Lei n.º 9.795 de Educação Ambiental de 1999 e Lei n.º 14.393 de 2022 da Campanha Verde	Realização de parcerias público privadas para divulgações em massa para os cidadãos	Poder público municipal e Associações de Catadores de materiais recicláveis

Durante as visitas às Associações de Catadores de Materiais Recicláveis ACMAR e ACPF, foi observado um considerável acúmulo de materiais recicláveis tanto dentro quanto fora dos galpões. Além disso, percebeu-se que é necessária uma conscientização ambiental dos moradores para impulsionar a prática da coleta seletiva. Portanto, é crucial investir em programas de Educação Ambiental como um meio de sensibilização, o que é fundamental para garantir a eficácia da coleta seletiva.

Neste contexto, uma vez observada a falta de cobertura da coleta seletiva no município de Ouro Preto/MG, desenvolveu-se as rotas otimizadas por intermédio do *software* ARCGIS, resultando em 11 rotas para as Associações de Catadores. Deve-se frisar, que o município de Ouro Preto/MG possui 40 bairros em sua sede e que as rotas foram obtidas de modo a garantir a melhor uniformidade na guarnição da coleta dos materiais recicláveis. Ademais, os PEV's foram adicionados em locais de difícil acesso no município de Ouro Preto/MG, especialmente quanto às locais de alta declividade (Figura 2).



7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

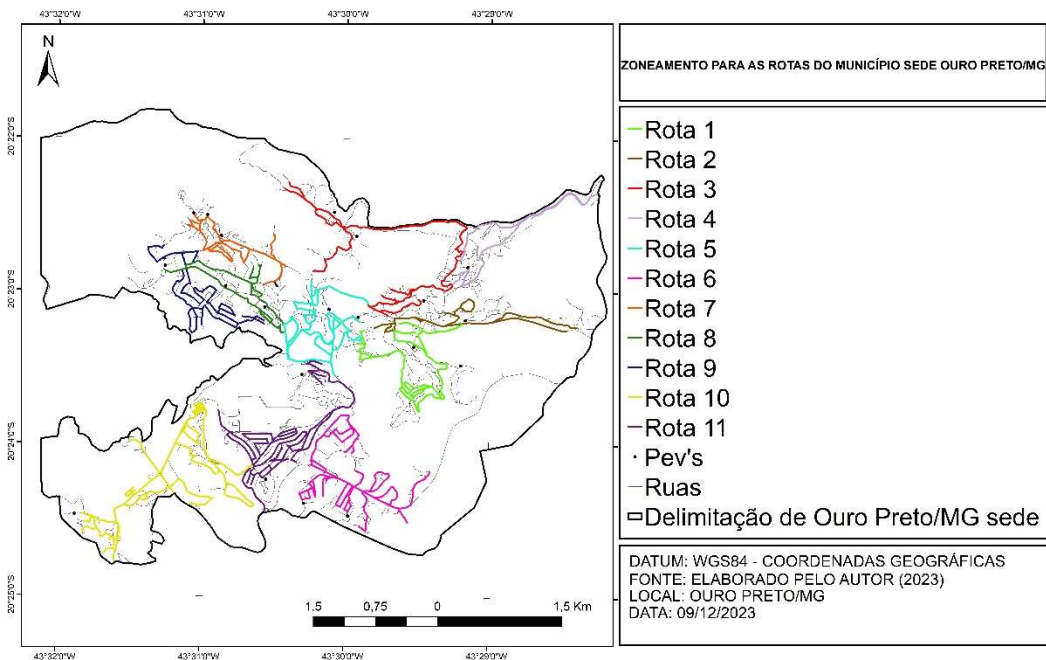


Figura 2: Mapa proposto das rotas otimizadas. Fonte: Autores do Trabalho (2024).

Notou-se através das rotas otimizadas, que o custo do combustível das rotas além das emissões de CO₂ são menores com as distâncias percorridas (Figuras 3 e 4). Adicionalmente, o poder público municipal poderia investir em caminhões do tipo VW DELIVERY EXPRESS, que são veículos adequados para atender a coleta seletiva do município de Ouro Preto/MG. Estes tipos de veículos, consomem 5,4 l/km de diesel e além disso, no mês de dezembro de 2023 o valor médio do diesel estava em R\$ 6,16 no país.

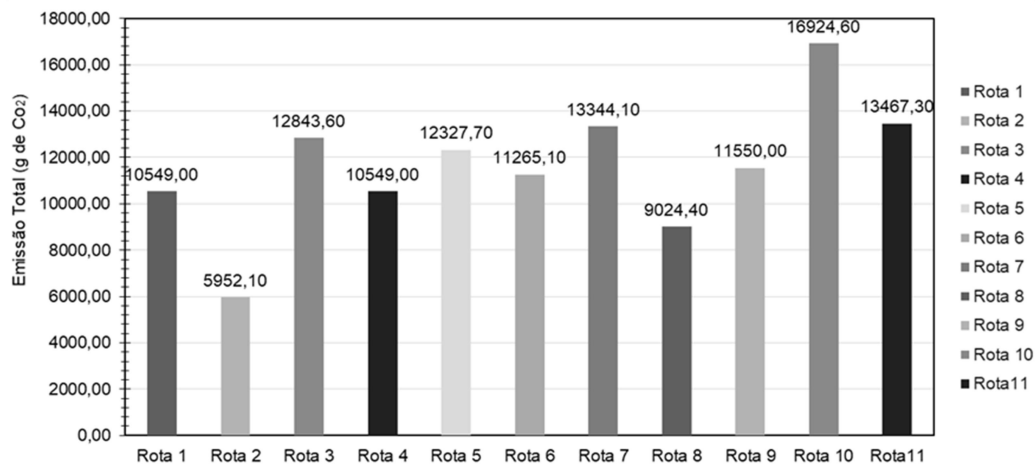


Figura 3: Emissões totais de CO₂ em gramas das rotas otimizadas. Fonte: Autores do trabalho (2024).

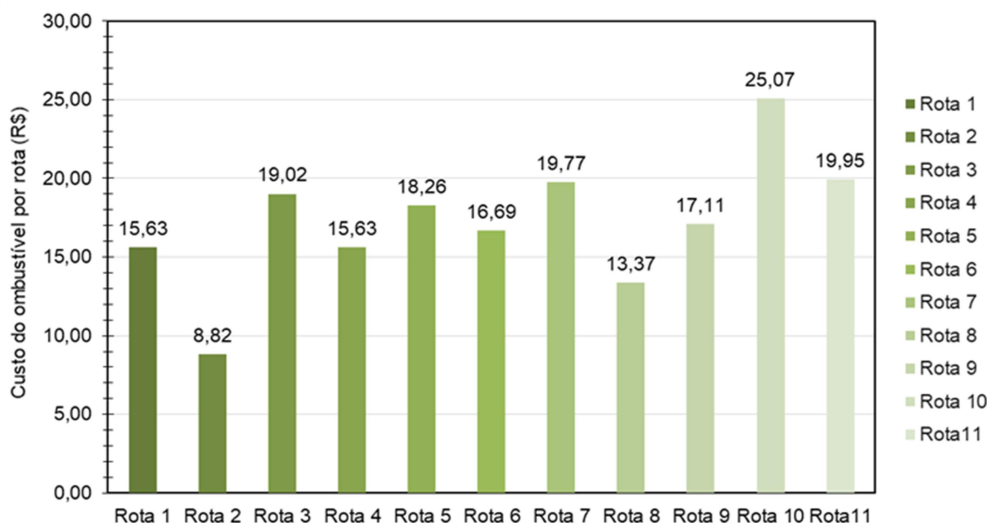
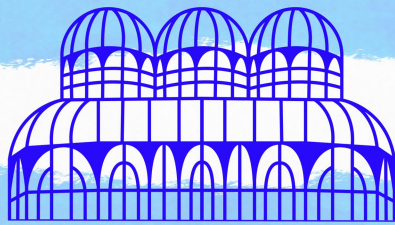


Figura 4: Custo do valor do combustível por rota realizada. Fonte: Autores do Trabalho (2024).

Desse modo, através das rotas otimizadas e as quilometragens encontradas, estimou-se também o quantitativo que pode vir a ser coletado futuramente. Considerando a gravimetria dos resíduos sólidos urbanos no Brasil de 2020 da ABRELPE e no que diz respeito ao que as Associações de Catadores de Materiais Recicláveis coletam do ponto de vista de comercialização, foi adotado o valor de 32,2 % dos resíduos recicláveis deste Panorama, em relação aos RSU.

Assim sendo, uma vez obtida a estimativa dos domicílios dos bairros por meio das imagens satélites no *software QGIS*, de 14.493 residências no município sede de Ouro Preto/MG, e 2,8 pessoas por domicílios de acordo com os dados do IBGE de 2023 e a geração per capita de 1,04kg/hab/dia de resíduos conforme dados da ABRELPE de 2022, foi obtido o potencial de resíduos a serem coletados.

Desta maneira, o total da população de 40.581 habitantes estimados, por meio do *software QGIS* produzindo 32,2% de resíduos recicláveis, tem a condição de gerar aproximadamente 13.590 kg de materiais recicláveis (Equação (1)) (BERNARDO; LIMA, 2017).

$$(1,041 \text{ kg/hab/dia} * 32,2\% * 40.581) = 13.590 \text{ kg} \quad \text{equação (1)}$$

Porém, levando em consideração que nem toda a população irá se integrar do programa de coleta seletiva, com 50 % de habitantes colaborando com a coleta seletiva, um caminhão de capacidade de 618 kg (Equação (2)) aproximadamente poderia atender em média as 11 rotas otimizadas e alcançadas (BERNARDO; LIMA, 2017).

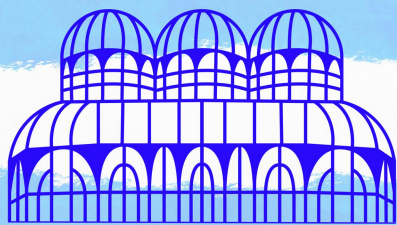
$$((13.590 \text{ kg} / 2) / 11) = 618 \text{ kg} \quad \text{equação (2)}$$

CONCLUSÃO

O estudo manteve o foco em propor estratégias para otimização das rotas de coleta seletiva do município sede de Ouro Preto/MG, em que se identificou as condições de coleta atual, diagnosticando o modelo de percurso e o atendimento à população, sendo posteriormente realizadas propostas de rotas para duas Associações de Catadores de Materiais Recicláveis, ACMAR e ACPF. Com o auxílio do software ARCGIS foi possível a criação de rotas otimizadas com uma distribuição mais equitativa dos resíduos recicláveis, e a reformulação do roteiramento, onde observou-se que rotas menores emitem menos CO₂ e consomem menos combustível dos caminhões. O estudo revelou um potencial de se produzir cerca de 13.590 kg de materiais recicláveis diariamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASHBY, M. F. **Engenharia Ambiental: Conceitos, tecnologia e gestão**. Coordenação de CALIJURI, M. do C.; CUNHA, D.G.F. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. 789 p.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama 2022**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 15 nov. 2023.
3. BARBOSA, R. P.; IBRAHIN, F. I. D. **Resíduos Sólidos - Impactos, Manejo e Gestão Ambiental**. São Paulo: Editora Érica, 2014. E-book. ISBN 9788536521749. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536521749/>. Acesso em: 05 jul. 2023..
4. BERNARDO, Marcella; LIMA, Renato da Silva. **Planejamento e implantação de um programa de coleta seletiva: utilização de um sistema de informação geográfica na elaboração das rotas**. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 9, p. 385-395, 2017.



7º CONRESOL

7º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

CURITIBA/PR - 14 a 16 de Maio de 2024

5. BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 09 nov. 2023.
6. BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento Básico. **SNIS - Série Histórica: ano de referência 2021**. Brasília, DF: MDR, 2023. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 01 de abril de 2024.
7. FONTÃO, S.S.; DE OLIVEIRA, L.P.F. **A Importância da Associação de Catadores de Materiais Recicláveis: O Contexto Social dos Catadores**. Educação Ambiental em Ação, v. 19, n. 72, 2020.
8. GALLISA, Vinícius do Sacramento. **Otimização das rotas da coleta seletiva do município sede de Ouro Preto/MG**. 2024. 91f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2024.
9. VARANDA, T. A. **Otimização de rotas e redução dos custos de operação da coleta seletiva**. 2015. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Aberta do Brasil, Barretos, São Paulo, 2015.