

The 1st International Conference on Smart Mobility and Logistics Ecosystems (SMiLE)
September 17-19, 2024, KFUPM, Saudi Arabia

Insert here, the title of your paper, Capitalize first letter

First Author^a, Second Author^b, Third Author^{a,b,*}

^aFirst affiliation, Address, City and Postcode, Country

^bSecond affiliation, Address, City and Postcode, Country

Abstract

Insert here your abstract text. (Word Limit: 300 words)

© 2021 The Authors. Published by Elsevier B.V.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Peer-review under responsibility of the scientific committee of the 24th Euro Working Group on Transportation Meeting.

Keywords: Type your keywords here, separated by semicolons ; (Maximum 6 keywords)

1. Introdução

Em setembro de 2015 os países membros da Organização das Nações Unidas estabeleceram um conjunto de objetivos e metas denominados de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), onde foram estipulados 17 objetivos globais divididos em 169 metas a serem alcançadas até o ano de 2030 ([Organização das Nações Unidas, 2016](#)). Dentre os ODSs, a gestão de resíduos sólidos (GRS) pode ser relacionada, direta ou indiretamente, com 10 deles. Dentre eles, pode-se destacar os ODSs 11 e 13. O ODS 11 traz as questões relacionadas às cidades e comunidades, e tem por finalidade tornar as cidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis. Uma das suas metas consiste na redução dos impactos ambientais negativos per capita nas cidades, incluindo temas como a qualidade do ar, gestão dos resíduos municipais e outros. Enquanto o ODS 13 busca tomar as medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e os seus impactos. Sendo assim, a preocupação com as questões relacionadas ao gerenciamento dos resíduos sólidos torna o alcance dos ODS mais acessível, uma vez que as cidades que possuem essa questão bem resolvida conseguem promover um ambiente saudável, melhorar o bem-estar da sua população, entre outros atributos que contribuem para o desenvolvimento sustentável da cidade ([de Oliveira Farias et al., 2022](#); [Hannan et al., 2020](#); [Organização das Nações Unidas, 2016](#)).

Neste sentido, a gestão sustentável dos resíduos deve ser vista como uma questão global, uma vez que o tratamento inadequado dos mesmos representa uma ameaça não apenas ao meio ambiente e à saúde pública, mas também à economia e à sociedade como um todo. O descarte de resíduos, principalmente se for realizado de maneira incorreta,

* Corresponding author. Tel.: +0-000-000-0000 ; fax: +0-000-000-0000.

E-mail address: author@institute.xxx

pode provocar danos ao solo, às águas e ao ar, além de se tornar potencialmente um risco à saúde pública. Além disso, a decomposição desse material provoca a emissão de gases de efeito estufa, como o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). Sendo assim, a disposição final dos resíduos também pode contribuir significativamente para o processo de mudanças climáticas, contribuindo para um maior aquecimento global (Gouveia, 2012; International Solid Waste Association - ISWA, 2021; de Oliveira Farias et al., 2022; Hannan et al., 2020).

Desta maneira, a gestão adequada dos resíduos funciona como um instrumento para a proteção do meio ambiente e também da saúde pública. A GRS compreende todas as ações executadas ao longo de todo o processo de coleta, transporte, tratamento e destinação final adequada de resíduos sólidos gerados (Brasil, 2010). Dentro de todo o processo de GRS, as partes mais importantes seriam as etapas de coleta e transporte dos resíduos, desde o local onde são gerados até o local onde são descartados (Akhtar et al., 2017). Estudos anteriores trazem informações de que esta fase compromete a maior parte do orçamento destinado a todo o processo, podendo chegar a até 80% de todos os recursos disponíveis (Abdallah et al., 2019; Akhtar et al., 2017; Hannan et al., 2020; Hemidat et al., 2017; Liu and Liao, 2021). Estes gastos podem ser justificados pelas despesas com salários, custos elevados de combustíveis e manutenção dos veículos, uma vez que o uso de veículos durante toda a fase de coleta é muito intenso (Abdallah et al., 2019).

Do ponto de vista social e ambiental, o fato do processo de coleta e transporte de resíduos envolver o uso intenso de veículos, gera como resultado um grande consumo de energia, emissões de gases poluentes na atmosfera e congestionamentos no tráfego das cidades (Abdallah et al., 2019; Liu and Liao, 2021). Diante disso, os responsáveis por realizar a GRS estão cada vez mais em busca de meios mais sustentáveis para realizar o processo de forma mais eficiente, como uma tentativa de reduzir os custos e os impactos ambientais do processo (Hannan et al., 2020).

Uma das formas mais eficientes de se reduzir os custos e as emissões envolvidas no processo de coleta e transporte dos resíduos é o planejamento das rotas dos veículos utilizados (Cao et al., 2021; Hannan et al., 2020). O planejamento das rotas pode ser alcançado através do processo de otimização. O problema de otimização de rotas também é conhecido na literatura como problema de roteamento de veículos (Vehicle Routing Problem- VRP), que consiste na determinação de rotas ideais para um conjunto de veículos para o atendimento de um conjunto de clientes (Hannan et al., 2020).

A partir de uma breve revisão de literatura é possível encontrar estudos que abordam a questão do roteamento dos veículos como uma forma de reduzir os custos relacionados ao processo de GRS. Rodríguez et al. (2022) propuseram uma otimização das rotas de coleta de recipientes de óleos alimentares usados pelos estabelecimentos comerciais da cidade de Bogotá, na Colômbia. O modelo desenvolvido pelos autores buscava minimizar a distância percorrida que, em consequência, acabava reduzindo o tempo de viagem. Os resultados obtidos mostram que a otimização das rotas, combinada com um aumento na capacidade de armazenamento do óleo usado nos pontos geradores, e com a utilização da capacidade máxima dos veículos de coleta, é capaz de promover uma redução tanto nos custos de coleta quanto nas emissões de CO_2 .

Hemidat et al. (2017) realizaram um estudo cujo objetivo era desenvolver uma metodologia para a otimização dos sistemas de coleta de resíduos para as cidades de Irbid, Karak e Mafrq, localizadas na Jordânia. A estratégia adotada pelos autores consistia na avaliação de indicadores de desempenho e indicadores de custos operacionais. A partir da análise dos indicadores, seria possível determinar as melhores possibilidades de rotas para coleta de resíduos com relação ao tempo de viagem, distância percorrida e custos. Foram simulados cenários formados por diferentes suposições, para serem comparados com as rotas atuais. Os resultados mostraram que os cenários propostos gerariam custos totais menores para as três cidades analisadas.

Abdallah et al. (2019), Akhtar et al. (2017) e Hannan et al. (2020) propuseram modelos de coleta de resíduos baseados em sistemas de coleta inteligentes. Nestes estudos, as lixeiras são equipadas com sensores que permitem acompanhar seu nível de enchimento em tempo real. Aquelas que ultrapassam um nível considerado adequado de preenchimento são selecionadas para a coleta. Desta maneira, as rotas para coleta são geradas levando em consideração apenas os recipientes que necessitam serem esvaziados, evitando o deslocamento desnecessário para locais que ainda suportam uma maior quantidade de resíduos. Os resultados mostraram reduções tanto nos custos quanto nas emissões de gases poluentes.

Franca et al. (2019) desenvolveram um modelo para analisar a viabilidade da implantação de coleta seletiva em estabelecimentos comerciais na cidade do Rio de Janeiro, no Brasil. Os resultados obtidos mostraram que o planejamento de rotas gera um custo total menor do que o sistema de coleta atual.

Embora seja possível encontrar diversos trabalhos na área, ainda existem algumas lacunas que podem ser exploradas. No que se refere aos métodos utilizados para resolver um problema de otimização de rotas, eles podem variar de estudo para estudo. Alguns trabalhos empregam modelos de Programação Linear Inteira Mista - MILP (Hannan et al., 2020) ou modelos de algoritmos genéticos (Rodríguez et al., 2022; Akhtar et al., 2017). Outros fazem uso de técnicas de Sistemas de Informação Geográfica - GIS (Hemidat et al., 2017; Abdallah et al., 2019). E tem ainda o trabalho de Franca et al. (2019) que utiliza o software de roteirização de veículos conhecido como ORTEC Routing and Dispatch (ORD). Além disso, pode-se perceber também que existem poucos estudos direcionados para a coleta de resíduos sólidos nos municípios brasileiros. Neste sentido, surge a oportunidade de adotar o planejamento de rotas como uma estratégia para reduzir os gastos e os impactos ambiental e social levando em consideração estas localidades.

Neste contexto, este estudo tem como objetivo propor um modelo computacional de planejamento de rotas de coleta de resíduos sólidos, com o cálculo dos custos financeiros e das emissões de CO_2 para o município de Sapucaia, que se localiza no interior do estado do Rio de Janeiro, no Brasil. Serão utilizadas duas ferramentas para solucionar o problema de otimização proposto: Open Source Routing Machine (OSRM) e Vehicle Routing Open-source Optimization Machine (VROOM). Uma terceira ferramenta, a API (Application Programming Interface) Carbon Interface, será utilizada para estimar as emissões de CO_2 do processo. Até o desenvolvimento deste trabalho, não é de conhecimento dos autores a existência de algum outro estudo que tenha empregado as três ferramentas simultaneamente. Desta maneira, espera-se que este trabalho possa contribuir para os avanços nos estudos a cerca da otimização das rotas dos veículos de coleta de resíduos.

No que se refere aos benefícios esperados para o município, espera-se obter um plano de coleta sustentável e com custos mais baixos, promovendo assim um aumento da eficiência do processo, o que pode contribuir para a manutenção da limpeza e da higiene urbana, melhorando assim a qualidade de vida dos moradores. Assim, espera-se que esta pesquisa possa servir como um instrumento para auxiliar no processo de GRS do município, de maneira que os profissionais responsáveis possam tomar suas decisões de forma mais eficiente, tanto em termos econômicos quanto ambientais.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

Neste trabalho foi utilizada a cidade de Sapucaia como área de estudo (Figura 1). O município possui uma área de 541,2 km² e está localizado na Região Centro-Sul do Estado do Rio de Janeiro, no Brasil (Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro, 2018). O município é composto por 5 distritos: Sapucaia, Anta, Nossa Senhora Aparecida, Jamapará e Vila do Pião (Prefeitura Municipal de Sapucaia, 2024). Entretanto, o estudo compreende apenas os 3 primeiros, uma vez que foram obtidos dados apenas destas três localidades. As informações sobre as ruas onde ocorrem a coleta, a quantidade de caminhões e os locais do aterro onde são descartados os resíduos e da garagem onde ficam os caminhões foram obtidas com a Secretaria do Meio Ambiente do Município.

2.2. Obtendo as rotas atuais

Com o auxílio do OpenstreetMaps e do Google Maps foram obtidas as coordenadas de cada uma das ruas onde ocorre a coleta. Em um primeiro momento, essas coordenadas foram utilizadas para traçar a rota atual de coleta em cada um dos distritos, utilizando uma API fornecida pelo Open Source Routing Machine (OSRM). O OSRM é um software de código aberto desenvolvido em C++ e que utiliza dados do projeto OpenStreetMap, para obter a distância e o tempo gastos em uma viagem. Além disso, ele utiliza o algoritmo de Dijkstra, por padrão, para encontrar o caminho mais curto entre um determinado conjunto de pontos. O software apresenta uma ótima performance sendo capaz de calcular rotas longas em poucos segundos (Open Source Routing Machine, 2024).

2.3. Otimização das rotas

As coordenadas obtidas também foram utilizadas para otimizar as rotas. Neste trabalho, utilizou-se o software Vehicle Routing Open-source Optimization Machine (VROOM). Assim como o OSRM, também é um software de

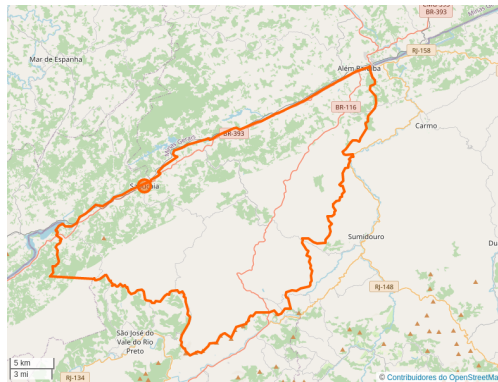


Fig. 1. Sapucaia

código aberto desenvolvido em C++ que utiliza dados do OpenStreetMaps. O VROOM consiste em uma ferramenta capaz de fornecer boas soluções para várias aplicações reais de problemas de roteamento de veículos (VRP) em tempo computacional relativamente pequeno (Coupey et al., 2024).

2.4. Cálculo do consumo de combustível

O consumo de combustível foi estimado com base na distância total percorrida e em uma taxa média de consumo de combustível de 3 e 4 quilômetros por litro (km/l). Esta estimativa foi fundamentada no estudo de dos Santos et al. (2017), no qual se constatou que, em média, um caminhão responsável pela coleta de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) apresenta um consumo aproximado de 3 a 4 km/L.

$$C = \frac{D}{E} \quad (1)$$

Onde: C é o consumo de combustível em litros; D é a distância total percorrida; e, E é a eficiência média do caminhão em quilômetros por litro (km/L).

Neste cálculo, foi considerado dois possíveis valores para a eficiência média do caminhão:

- $E_1 = 3$ km/L (Pior eficiência);
- $E_2 = 4$ km/L (Melhor eficiência).

Após obter a quantidade de combustível consumida é possível calcular o total gasto com combustíveis durante o processo de coleta e transporte de RSU. O gasto com combustível pode ser obtido a partir da seguinte equação:

$$T = C \times P \quad (2)$$

Onde: T é o total gasto com combustível e P é o preço pago pelo combustível. Neste estudo, o combustível considerado é o diesel e o preço adotado foi R\$ 5.90¹ (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2024)

2.5. Uso da Carbon Interface para calcular as emissões de carbono

A mensuração das emissões de carbono associadas ao deslocamento da coleta de RSU é fundamental para compreender e mitigar os impactos ambientais gerados. Neste trabalho, foi empregada a API da Carbon Interface a qual permitiu estimar estas emissões, baseando-se na combustão de combustível (Carbon Interface, 2024) e considerando diferentes níveis de consumo de combustível dos veículos.

¹ Preço médio de revenda do litro do diesel em 01/02/2024

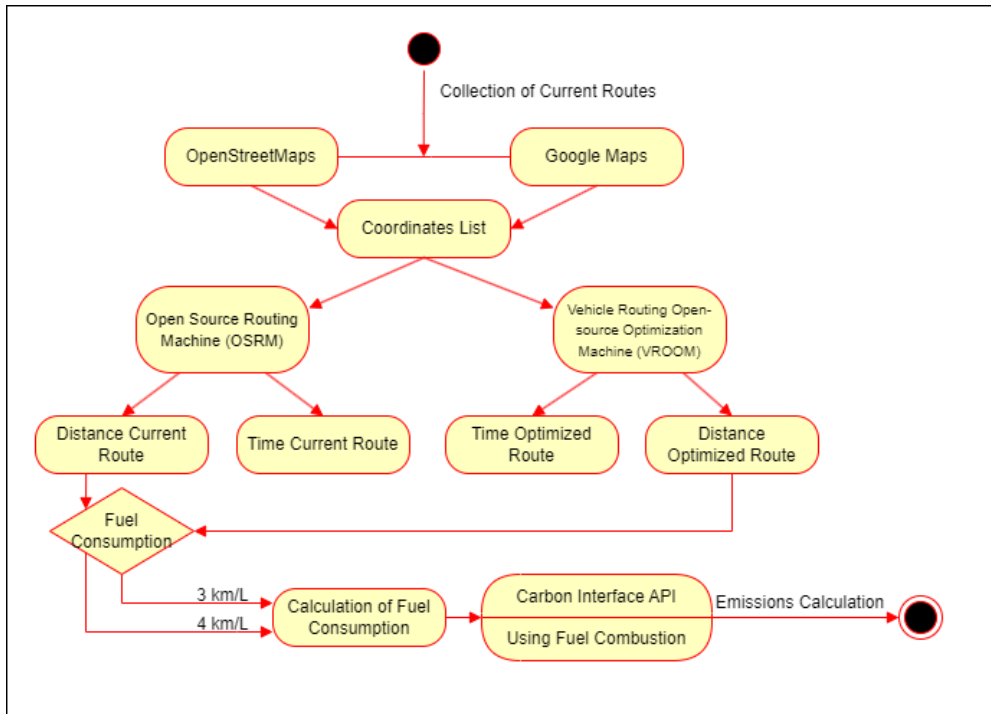


Fig. 2. Methodology Flowchart

2.6. Methodology flowchart

Para facilitar o entendimento da metodologia, foi criado um fluxograma para representar todo o procedimento realizado.

3. Resultados e Discussão

3.1. Rotas atuais

Com o auxílio do OSRM foi possível obter o mapa com o desenho das rotas de cada um dos distritos. A Figura 3 mostra um exemplo do mapa do distrito de Sapucaia. Além disso, também é possível obter a distância e o tempo de viagem de cada um dos distritos analisados para cada dia de coleta. De acordo com as informações obtidas, a coleta ocorre 6 dias da semana em Sapucaia e Anta, enquanto em Aparecida são apenas 3 dias por semana. Assim, a Tabela 1 mostra os resultados diários, semanais, mensais e anuais considerando as rotas de coleta atuais.

Table 1. Resultados OSRM

Resultado	Distrito					
	Sapucaia		Anta		Aparecida	
	Distância (km)	Tempo	Distância (km)	Tempo	Distância (km)	Tempo
Diário	34.65	55min	52.92	1h21min	81.07	2h02min
Semanal	207.90	5h29min	317.51	8h03min	243.22	6h06min
Mensal	831.61	21h56min	1270.05	32h14min	972.89	24h25min
Anual	10810.89	285h05min	16510.60	419h	12647.51	317h26min

nas rotas atuais, foram considerados 3 dias de coleta para o distrito de Aparecida e 6 dias para os distritos de Anta e Sapucaia. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos na otimização para os três distritos analisados. Os resultados são apresentados por dia, semana, mês e ano.

Table 4. Resultados VROOM

Resultado	Distrito					
	Sapucaia		Anta		Aparecida	
	Distância (km)	Tempo	Distância (km)	Tempo	Distância (km)	Tempo
Diário	28.69	41min	44.19	59min	64.09	1h18min
Semanal	172.14	4h06min	265.14	5h54min	192.27	3h54min
Mensal	688.56	16h24min	1060.56	23h36min	769.08	15h36min
Anual	8951.28	213h12min	11310.00	306h48min	9998.04	202h48min

Depois de obter a distância otimizada, é possível calcular a quantidade de combustível necessária para percorrer a rota e o total que deverá ser gasto com combustíveis. A Tabela 5 mostra a quantidade do combustível necessária e o valor gasto para cada um dos distritos.

Table 5. Resultados Combustíveis - Quantidade Necessária e Total Gasto - Rota Otimizada

Resultados	Distrito											
	Sapucaia				Anta				Aparecida			
	3km/L		4 km/L		3km/L		4 km/L		3km/L		4 km/L	
	Litros (L)	Total Gasto (R\$)	Litros (L)	Total Gasto (R\$)	Litros (L)	Total Gasto (R\$)	Litros (L)	Total Gasto (R\$)	Litros (L)	Total Gasto (R\$)	Litros (L)	Total Gasto (R\$)
Diário	9.56	56.4	7.17	42.30	14.73	86.91	11.05	65.20	21.36	126.02	16.02	94.52
Semanal	57.38	338.54	43.04	253.94	88.38	521.44	66.28	391.05	64.09	378.13	48.07	283.61
Mensal	229.52	1354.17	172.14	1045.13	353.52	2085.77	265.14	1564.33	256.36	1512.52	192.27	1134.39
Anual	2983.76	17604.18	2237.82	13203.14	4595.76	27114.98	3446.82	20336.24	3332.68	19662.81	2499.51	14747.11

Após obter a quantidade de combustível necessária em cada um dos cenários, calcula-se a estimativa para as emissões de carbono nas rotas otimizadas. Na Tabela 6 é possível verificar os resultados encontrados para cada um dos distritos.

Table 6. Estimativas de Emissão de Carbono - Rotas Otimizadas

Estimativas da Emissão de CO ₂ (Kg)	Distrito					
	Sapucaia		Anta		Aparecida	
	3km/L	4 km/L	3km/L	4 km/L	3km/L	4 km/L
Diário	25.66	19.24	39.54	29.66	57.33	43.0
Semanal	154.01	115.52	237.21	177.89	172.02	129.02
Mensal	616.03	475.44	948.84	711.63	870.42	516.05
Anual	8008.38	6006.28	12334.97	9251.23	8944.88	6708.66

A partir dos resultados apresentados nas tabelas anteriores, pode-se perceber que a otimização gera redução na distância percorrida por viagem de 17.2%, 16.5% e 20.1% para os distritos de Sapucaia, Anta e Aparecida, respectivamente, em comparação com as rotas praticadas atualmente, o que significa que o tempo necessário para realizar a viagem também será menor.

A redução na distância percorrida também reduz a quantidade de combustível utilizada no percurso, o que significa que o total gasto para adquirir combustível nas rotas otimizadas também será menor. Considerando o gasto total anual do município, a redução na quantidade utilizada representa uma economia de cerca de 18%. Consumindo menos combustível no percurso, as emissões de CO₂ também se reduzem. Os resultados apresentados acima mostram que ao adotar as rotas otimizadas o município estaria emitindo na atmosfera cerca de 18% menos CO₂ por ano.

4. Considerações Finais

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo computacional para auxiliar no processo de planejamento das rotas de coleta e transporte de RSU, incluindo cálculo dos custos financeiros e das emissões de CO_2 . Para atingir este objetivo, foram utilizados o OSRM e o VROOM para solucionar o problema de otimização de rotas proposto. Em complemento, a API Carbon Interface foi utilizada para estimar as emissões de Carbono. Até então, esta abordagem não tinha sido adotada em nenhum outro trabalho.

O estudo foi aplicado a uma parte da cidade de Sapucaia, que está localizada no interior do estado do Rio de Janeiro, no Brasil. Os resultados mostraram que a otimização gera rotas com distâncias menores para os três distritos analisados, o que impacta o tempo da viagem e o consumo de combustível. Como o consumo de combustíveis é menor, o total gasto para comprar combustível e a quantidade de CO_2 emitida no processo também são menores do que o que seria praticado atualmente. Como foi possível verificar, a redução tanto das emissões de CO_2 quanto do total gasto foram de cerca de 18% para todo o município. Neste sentido, a adoção do planejamento de rotas pode contribuir como um instrumento para reduzir tanto os custos quanto as emissões de CO_2 .

Pesquisas futuras ainda podem ser realizadas ao incluir uma análise mais detalhada a respeito dos custos envolvidos no processo, que considere outros componentes dos custos operacionais além do gasto com combustível. Do lado ambiental, pode-se incluir no trabalho medidas para compensar as emissões de carbono, como uma forma de tentar amenizar os impactos ambientais causados no processo. Outra maneira de tentar amenizar os impactos ambientais seria a utilização de combustíveis de origem renovável, em substituição ao óleo diesel considerado neste estudo. Ou ainda, pode-se realizar uma análise sobre a possibilidade de se adotar uma frota de veículos elétricos em substituição aos veículos movidos a diesel.

References

- Abdallah, M., Adghim, M., Maraqa, M., Aldahab, E., 2019. Simulation and optimization of dynamic waste collection routes. *Waste Management & Research* 37, 793–802.
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2024. Painel dinâmico - preços de revenda e distribuição de combustíveis. URL: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/painel-dinamico-de-precos-de-combustiveis-e-derivados-do-petroleo>.
- Akhtar, M., Hannan, M., Begum, R., Basri, H., Scavino, E., 2017. Backtracking search algorithm in cvrp models for efficient solid waste collection and route optimization. *Waste Management* 61, 117–128.
- Brasil, 2010. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. URL: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.
- Cao, S., Liao, W., Huang, Y., 2021. Heterogeneous fleet recyclables collection routing optimization in a two-echelon collaborative reverse logistics network from circular economic and environmental perspective. *Science of the Total Environment* 758, 144062.
- Carbon Interface, 2024. Carbon interface documentation. URL: <https://docs.carboninterface.com/>.
- Coupey, J., Nicod, J.M., Vernier, C., 2024. VROOM v1.14, Vehicle Routing Open-source Optimization Machine. Verso (<https://verso-optim.com/>). Besançon, France. <http://vroom-project.org/>.
- Franca, L.S., Ribeiro, G.M., Chaves, G.d.L.D., 2019. The planning of selective collection in a real-life vehicle routing problem: A case in rio de janeiro. *Sustainable Cities and Society* 47, 101488.
- Gouveia, N., 2012. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciência & saúde coletiva* 17, 1503–1510.
- Hannan, M., Begum, R., Al-Shetwi, A.Q., Ker, P., Al Mamun, M., Hussain, A., Basri, H., Mahlia, T., 2020. Waste collection route optimisation model for linking cost saving and emission reduction to achieve sustainable development goals. *Sustainable Cities and Society* 62, 102393.
- Hemidat, S., Oelgemöller, D., Nassour, A., Nelles, M., 2017. Evaluation of key indicators of waste collection using gis techniques as a planning and control tool for route optimization. *Waste and biomass valorization* 8, 1533–1554.
- International Solid Waste Association - ISWA, 2021. O futuro do setor de gestão de resíduos. URL: <https://abrelpe.org.br/o-futuro-do-setor-de-gestao-de-residuos/>, doi:DOI.
- Liu, L., Liao, W., 2021. Optimization and profit distribution in a two-echelon collaborative waste collection routing problem from economic and environmental perspective. *Waste Management* 120, 400–414.
- de Oliveira Farias, E.A., Guilherme, A.S., da Silva, A.C.B., de Araujo, R.A., Esteves, E.M.M., Morgado, C.d.R.V., 2022. Objetivos de desenvolvimento sustentável e o plano de gestão integrada de resíduos sólidos da cidade do rio de janeiro. *Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares* 3, 1–20.
- Open Source Routing Machine, 2024. Open source routing machine. <http://project-osrm.org/docs/v5.5.1/api/#general-options>.
- Organização das Nações Unidas, 2016. Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. URL: http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/Brasil_Amigo_Pesso_Idosa/Agenda2030.pdf.

Prefeitura Municipal de Sapucaia, 2024. Prefeitura municipal de sapucaia. <https://sapucaia.rj.gov.br/a-cidade>.

Rodríguez, J.S., Orjuela, A., Cadavid, J.G., 2022. Characterization and optimization of a used cooking oils collection chain—study case bogotá, colombia. *Chemical Engineering Research and Design* 184, 59–71.

dos Santos, L., Ometto, J.P., Nascimento, V.F., 2017. Roteirização dos veículos de coleta de resíduos sólidos urbanos utilizando sig .

Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro, 2018. Estudos socioeconômicos dos municípios do estado do rio de janeiro.