



**UFOP**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

---



**PATRYK AUGUSTO DE LIMA FERREIRA**

**USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS  
(SIG) PARA ROTEIRIZAÇÃO DA COLETA DE RESÍDUOS  
SÓLIDOS PARA O MUNICÍPIO DE ITABIRITO/MG**

Ouro Preto

2023

USO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) PARA  
ROTEIRIZAÇÃO DA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA O MUNICÍPIO DE  
ITABIRITO/MG

PATRYK AUGUSTO DE LIMA FERREIRA

Trabalho Final de Curso apresentado  
como parte dos requisitos para obtenção  
do Grau de Engenheiro Ambiental na  
Universidade Federal de Ouro Preto.

Área de concentração: Resíduos Sólidos

Orientador: Profa. D.Sc. Marina de Medeiros Machado – UFOP

Ouro Preto

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F383u Ferreira, Patryk Augusto de Lima.  
    Uso de sistemas de informações geográficas (sig) para roteirização da  
    coleta de resíduos sólidos para o município de Itabirito/MG. [manuscrito] /  
    Patryk Augusto de Lima Ferreira. - 2023.  
    63 f.: il.: color., tab., mapa.

    Orientadora: Profa. Dra. Marina de Madeiros Machado.  
    Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola  
    de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

    1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Sistemas de informação geográfica. 3.  
    Rotas de coleta. I. Machado, Marina de Madeiros. II. Universidade Federal  
    de Ouro Preto. III. Título.

CDU 628.4

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Patryk Augusto de Lima Ferreira**

**Uso de sistemas de informações geográficas (SIG) para roteirização da coleta de resíduos sólidos para o município de Itabirito/MG**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental

Aprovada em 31 de agosto de 2023

### Membros da banca

Profa. Dra. Marina de Medeiros Machado - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP)  
Profa. Dra. Daniela Antunes Lessa - (Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP)  
Geógrafo, Esp., Ícaro de Assis Brito - (Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Itabirito/MG)

Marina de Medeiros Machado, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 18/09/2023



Documento assinado eletronicamente por **Marina de Medeiros Machado, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/09/2023, às 11:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0591062** e o código CRC **E82EBE77**.

*Apenas um raio de sol é suficiente  
para afastar várias sombras.*

*(São Francisco de Assis)*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela saúde e pelos “acazos” que colocou em minha vida.

Às minhas avós, pelo apoio incondicional durante todos os momentos de minha vida.

Ao meu pai, pelo exemplo.

À minha mãe, que sempre me apoiou.

À Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, pela oportunidade e gratuidade dos estudos.

À professora e orientadora Marina de Medeiros Machado, pela receptividade, orientação e apoio desde o início do desenvolvimento deste trabalho.

À Prefeitura Municipal de Itabirito, em especial a toda equipe da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SEMAM, pela gentileza de disponibilizar tempo e conhecimento para contribuir com minha pesquisa.

Aos que, mesmo indiretamente, contribuíram para a execução e a finalização deste trabalho.

## RESUMO

A problemática dos resíduos sólidos urbanos é um dos grandes desafios para a gestão ambiental nos municípios brasileiros. Esse problema é ainda mais acentuado em cidades de pequeno porte; onde, na grande maioria, os sistemas de limpeza pública são operados por meio de soluções locais. Uma coleta mal planejada encarece o transporte, gera prejuízos e reclamações, além de, prejudicar o tratamento e a disposição final dos resíduos sólidos. Sendo assim, o objetivo do presente estudo consiste na avaliação do sistema e na roteirização da coleta de Resíduos Sólidos Urbanos gerados no município de Itabirito/Minas Gerais, de modo a reduzir os fatores tempo, custo e distância. Para tanto, foram utilizados *softwares* de Sistema de Informação Geográfica – SIG, para estabelecer uma melhor roteirização da coleta municipal. Com o objetivo de avaliar a eficiência do uso de SIG no roteamento de veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares, foram realizadas simulações. Os resultados demonstraram que o SIG é uma ferramenta aplicável para esse tipo de estudo, uma vez que apresentou reduções significativas tanto em termos de distância percorrida, quanto no tempo total de percurso. Dentre os resultados, foi observada a redução em média de 46% da distância total das rotas, a qual repercutiu em uma redução de custos a um serviço prestado à comunidade que, em geral, consome uma fatia considerável dos erários públicos. Dessa forma, as ferramentas SIG são soluções altamente eficazes e valiosas para resolução de problemas de rotas de resíduos sólidos.

Palavras-chaves: Resíduos Sólidos Urbanos. Sistemas de Informação Geográfica. Roteirização da coleta. Itabirito-MG.





## **ABSTRACT**

The issue of urban solid waste is one of the major challenges for environmental management in Brazilian municipalities. This problem is even more accentuated in small towns, where, in the vast majority, public cleaning systems are operated through local solutions. Poorly planned collection increases transportation costs, generates losses and complaints, and hinders the treatment and final disposal of solid waste. Therefore, the aim of this study is to evaluate the system and route the collection of Urban Solid Waste generated in the municipality of Itabirito, Minas Gerais, in order to reduce factors such as time, cost, and distance. To achieve this, Geographic Information System - GIS software was used to establish a better municipal collection route. Simulations were conducted to assess the efficiency of using GIS in routing household solid waste collection vehicles. The results showed that GIS is an applicable tool for this type of study, as it demonstrated significant reductions in both distance traveled and total travel time. Among the results, an average reduction of 46% in the total route distance was observed, resulting in cost savings for a service provided to the community that generally consumes a significant amount of public funds. Thus, GIS tools are highly effective and valuable solutions for solving solid waste route problems.

Keywords: Urban Solid Waste. Geographic Information Systems. Collection routing. Itabirito-MG.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma de apresentação das etapas do trabalho. ....	18
Figura 2 - Localização do município de Itabirito/MG. ....	19
Figura 3 - Mapa dos limites da sede municipal de Itabirito.....	21
Figura 4 - Janela do plugin OSM.....	25
Figura 5 - Mapa da rede viária de Itabirito obtida do OSM sem tratamento. ....	26
Figura 6 - Mapa dos nós gerados.....	27
Figura 7 - Mapa das Unidades de Planejamento de Itabirito.....	28
Figura 8 - Janela do Network Analyst e do layer do VRP.....	29
Figura 9 - Mapa de pontos de referência. ....	30
Figura 10 - Tipologia e distribuição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos gerados no município de Itabirito. ....	34
Figura 11 - Porcentagem de Resíduos gerados no município de Itabirito/MG. ....	35
Figura 12 - Mapa dos setores de coleta atuais no município de Itabirito/MG. ....	38
Figura 13 - Mapa dos itinerários atuais mapeados.....	39
Figura 14 - Mapa de distância até o ponto de descarte. ....	40
Figura 15 - Mapa de rotas geradas, considerando zoneamento urbano da sede municipal, conforme unidades de planejamento. ....	41
Figura 16 - Mapa da Rota Bela Vista, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento. ....	42
Figura 17 - Mapa da Rota Caquende, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento. ....	43
Figura 18 - Mapa da Rota Carioca, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento. ....	44

Figura 19 - Mapa da Rota Central, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento. ....45

Figura 20 - Mapa da Rota Chancudo, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento. ....46

Figura 21 - Mapa da Rota Esperança, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento. ....47

Figura 22 - Mapa da Rota Monte Sinai, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento. ....48

Figura 23 - Mapa da Rota Núcleo Histórico, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento. ....49

Figura 24 - Mapa da Rota Padre Adelmo, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento. ....50

Figura 25 - Mapa da Rota Portões, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento. ....51

Figura 26 - Mapa da Rota Quinta dos Inconfidentes, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento. ....52

Figura 27 - Mapa da Rota Santa Efigênia, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento. ....53

Figura 28 - Mapa da Rota Vila Gonçalo, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento. ....54

Figura 29 - Gráfico de comparação das distâncias. ....57

Figura 30 - Gráfico de comparação de custos.....57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Legislação sobre Resíduos Sólidos .....	11
Tabela 2 – Dados sobre a população advindos dos Censos 1991/2000/2010. ..	22
Tabela 3 - Indicadores do Diagnóstico do Manejo de Resíduos .....	33
Tabela 4 - Programação Coleta de Resíduos Domiciliares .....	36
Tabela 5 - Programação Coleta Seletiva .....	37
Tabela 6 - Tabela de Atributos das Rotas.....	54
Tabela 7 - Caminho Rota Vila Gonçalo.....	55
Tabela 8 - Setor de coleta 1.....	56
Tabela 9 - Setor de coleta 2.....	56
Tabela 10 - Setor de coleta 3.....	56
Tabela 11 - Setor de coleta 4.....	56
Tabela 12 - Custo de Combustível.....	58

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

GPS – *Global Position System*

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NBR – Norma Técnica

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PCV – Problema do Caixeiro Viajante

PCC – Problema do Carteiro Chinês

RS – Resíduos Sólidos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SEMAM – Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SEMURB – Secretaria Municipal de Urbanismo

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

VRP – *Vehicle Routing Problem*

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	3
1.1.1 <i>Objetivos Específicos.....</i>	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	4
2.1.1 <i>Resíduos Sólidos Urbanos .....</i>	5
2.1.2 <i>Classificação dos Resíduos Sólidos .....</i>	6
2.1.3 <i>Gestão dos Resíduos Sólidos.....</i>	7
2.1.4 <i>Gerenciamento de Resíduos .....</i>	8
2.1.5 <i>Coleta e transporte de Resíduos Sólidos.....</i>	9
2.1.6 <i>Referências Normativas.....</i>	10
2.2 ROTEIRIZAÇÃO DA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	11
2.2.1 <i>Sistema de Informação Geográfica (SIG) .....</i>	12
2.2.2 <i>Modelos de Roteirização .....</i>	13
2.2.3 <i>Estudos Similares .....</i>	15
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
3.1 MATERIAIS.....	17
3.2 MÉTODOS.....	17
3.2.1 <i>Local de Estudo .....</i>	18
3.2.2 <i>Caracterização da gestão dos resíduos sólidos urbanos em Itabirito/MG .....</i>	22
3.2.3 <i>Preparação de bancos de dados para estudos de transporte .....</i>	24
3.2.4 <i>Definição de rotas de coleta de resíduos sólidos para Itabirito/MG .....</i>	26
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
4.1 GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE ITABIRITO (MG) .....	32
4.1.1 <i>Caracterização dos resíduos do município .....</i>	32
4.1.2 <i>Coleta convencional no município .....</i>	35
4.2 USO DO SIG PARA ROTEIRIZAÇÃO.....	40
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>60</b>

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....61**





# 1 INTRODUÇÃO

A incidência de resíduos sólidos dispostos pelo território, em muitos casos, de forma desordenada, se associa à uma série de fatores de natureza individual, física, social, econômica e tecnológica. Nesse sentido, ressalta-se que o avanço urbano e industrial, tal que, as inter-relações entre as sociedades contemporâneas e os recursos naturais favorecem o aumento na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), os quais podem ser concomitantemente pressionados, pela falta de infraestrutura sanitária verificada na grande maioria das sedes municipais brasileiras (COSTA, 2010; JÚNIOR; ARANTES, 2019).

Considerando o que dispõe a Lei N° 12.305 de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os RSU são definidos como resíduos domiciliares, de limpeza urbana originários de varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, e demais serviços de limpeza urbana (BRASIL, 2012). A mesma lei estabelece que a terminologia “rejeito” compreende o resíduo que não demanda de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, devendo assim ter a sua disposição final ambientalmente adequada como única alternativa (BRASIL, 2012).

No que se refere à geração de resíduos sólidos urbanos em território nacional, a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020; ABRELPE, 2022) apresenta em seu documento intitulado Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020 que, entre 2010 e 2019, o quantitativo de materiais descartados pela população registrou incremento considerável, passando de 67 milhões para 79 milhões de toneladas por ano em termos absoluto, em sua mesma análise no ano de 2022 elucida a geração de aproximadamente 82 milhões de toneladas para o ano. De modo similar, o aumento da geração per capita também evidenciou uma considerável ascensão de 348 kg/ano a 379 kg/ano para o mesmo período supradito, assim como para o ano de 2022 com a geração de 381 kg/hab/ano.

O documento supramencionado elucida ainda sobre a projeção da geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil nas próximas décadas, pontuando que, de fato, será observado no país um aumento de quase 50% no montante RSU em comparação ao ano de 2019 (ABRELPE, 2020).

Ante o exposto, é perceptível que a busca de soluções para a destinação final dos resíduos sólidos se constitui um expressivo desafio, sobretudo, no que tange a preservação dos recursos naturais e minimização de impactos à saúde pública (OLIVEIRA; JUNIOR, 2015). Tal afirmação é corroborada e complementada por Mersoni e Reichert (2017), os quais dissertam acerca da necessidade de um adequado tratamento dos resíduos, que contemple todas as fases a que os resíduos sólidos são submetidos, desde a sua origem até a sua disposição final, objetivando evitar ou reduzir os impactos ambientais.

Neste interim, ressalta-se que o gerenciamento de resíduos compreende etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento, destinação final dos resíduos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010), devendo estas, segundo Lima (2000), se basearem em aspectos tecnológicos e operacionais, envolvendo aspectos administrativos, gerenciais, econômicos, ambientais e de desempenho (produtividade e qualidade).

Considerando os aspectos expostos, Júnior e Arantes (2019) argumentam que, em geral, os municípios dispõem seus RSU em aterros sanitários localizados em áreas afastadas, o que, conseqüentemente, implica na elevação de custos com transportes e faculta o aumento da emissão de poluentes atmosféricos. Os autores fazem menção ainda aos prejuízos advindos da falta de planejamento de rotas de coleta nos limites municipais, os quais, por vezes, também podem advir do gerenciamento inadequado dos resíduos sólidos (JÚNIOR e ARANTES, 2019).

Para Brasileiro e Lacerda (2008), um ineficiente planejamento das rotas de coleta podem tecer problemas de ordem ainda maior, em se tratando de cidades de pequeno porte, onde os sistemas de limpeza pública são frequentemente operados com soluções locais, resultando em uma redução da cobertura do serviço de coleta de resíduos. Assim, é importante ressaltar que gerenciar as rotas de coleta refere-se à uma atividade complexa que requer um planejamento efetivo, capaz de organizar os melhores trajetos, de modo a atender toda a população com a regularidade exigida.

Desse modo, o presente estudo possui foco em estabelecer, através do uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG), análises sobre a coleta de resíduos sólidos urbanos do município de Itabirito, em Minas Gerais, além da proposição de alternativas mais eficientes e viáveis para a coleta.

Assim sendo, a metodologia prevista para a execução desta pesquisa objetiva validar a importância do conhecimento técnico e da operacionalização dos serviços públicos prestados. O estudo se justifica por oferecer resultados representativos e fiéis, em se tratando das condições reais em que os deslocamentos dos veículos ocorrem, baseando-se na hipótese de que a inserção de um método de coleta facultará uma maior eficiência do serviço em virtude da redução dos principais aspectos a serem considerados no transporte de resíduos sólidos urbanos: distância, tempo e custo.

## **1.1 Objetivo Geral**

Estabelecer um sistema de roteirização da coleta de resíduos sólidos urbanos (RSU) do município de Itabirito, em Minas Gerais.

### **1.1.1 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Caracterizar a gestão dos resíduos sólidos urbanos no Município de Itabirito (MG);
- b) Preparar bancos de dados de Itabirito/MG para efetuar estudos de transporte;
- c) Definição de rota de coleta de resíduos sólidos para o município de Itabirito/MG, com auxílio de ferramentas de Geoprocessamento, de modo a reduzir tempo, custo e distância percorrida.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Resíduos Sólidos

Os resíduos sólidos (RS) se subdividem em diferentes grupos e que são produzidos por pessoas físicas e/ou instituições. Entretanto, de forma genérica, esses mesmos resíduos são frequentemente definidos como “municipais” ou “urbanos”, reportando-se, neste momento, a sua origem (BARROS, 2012).

Ademais, diversos são os conceitos atribuídos aos resíduos sólidos. Na língua portuguesa, por exemplo, a palavra “resíduo” é definida como “o que resta de qualquer substância, resto” (FERREIRA, 2008), ou seja, aquilo que sobra. Já a Norma Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira (NBR) N° 10.004, original de 1987 e revisada em 2004, entende que os resíduos sólidos são:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004, p. 1).

A Lei N° 12.305/2010, por outro lado, amplia a definição, centrando a preocupação na etapa da disposição final, de modo que, em seu Art. 3° conceitua RS como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder, nos estados sólidos ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010, p. 2).

Em acordo aos dizeres de Foster, Roberto e Igari (2016) os resíduos sólidos apresentam ainda diversas classificações que podem variar, principalmente, em função da localização e o escopo de gestão adotado para um determinado território.

Segundo Philippi et al. (2004), a classificação dos resíduos sólidos pode levar em consideração a origem dos resíduos (industriais, urbanos, de serviços de saúde, de portos, de aeroportos, de terminais rodoviários e ferroviários, agrícola e entulho. Além da origem, a ABNT NBR 10.004/2004 concomitantemente à Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) distribuem os resíduos em outras três classificações, sendo elas, tipo, composição química, e periculosidade.

Em acordo a Política Nacional de Resíduos Sólidos integram o gerenciamento de resíduos a geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte e disposição final (BRASIL, 2010). De modo geral, os resíduos municipais devem ser transportados mecanicamente do destino gerador até o local de deposição final. Ante o exposto, para que seja realizada a coleta sanitariamente adequada e economicamente viável, deve-se realizar um planejamento eficiente que considere algumas variáveis, como a frequência, os pontos de coleta, o horário e a forma de coleta (AGUIAR; PHILIPPI JR., 2004).

### **2.1.1 Resíduos Sólidos Urbanos**

A geração de resíduos depende de diversos fatores, variando de acordo com questões culturais, nível e hábito de consumo, renda e padrão de vida da população, clima e características de sexo e idade dos grupos populacionais (BIDONE, POVINELLI, 1999).

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), segundo a NBR 17100-1 (ABNT, 2023, p. 8) são, “resíduos domiciliares e resíduos originários dos serviços públicos de limpeza urbana”.

Ainda conforme a supracitada norma são considerados RSU os resíduos provenientes de serviços de limpeza urbana, como: serviços de varrição, capina, roçada, poda e atividades correlatas em vias e logradouros públicos; asseio de túneis,

escadarias, monumentos, abrigos e sanitários públicos; raspagem e remoção de terra, areia e quaisquer materiais depositados pelas águas pluviais em logradouros públicos; desobstrução e limpeza de bueiros, bocas de lobo e correlatos; limpeza de logradouros públicos onde se realizem feiras públicas e outros eventos de acesso aberto ao público; e outros eventuais serviços de limpeza urbana (ABNT, 2023).

Concomitantemente, a atualização do novo marco legal do saneamento básico Lei Nº 14.026/2020 considera os resíduos originários de atividades comerciais, industriais e de serviços, em quantidade e qualidade similares às dos resíduos domésticos, que, por decisão do titular, sejam considerados resíduos sólidos urbanos, desde que tais resíduos não sejam de responsabilidade de seu gerador nos termos da norma legal ou administrativa, de decisão judicial ou de termo de ajustamento de conduta (BRASIL, 2020).

### **2.1.2 Classificação dos Resíduos Sólidos**

A classificação dos Resíduos Sólidos de acordo com suas características físicas é estabelecida pela NBR 10.004/2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e é baseada em quatro critérios: inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade. A classificação é feita de acordo com as características do resíduo em relação a esses critérios, e os resíduos são classificados em três classes, conforme descrito abaixo:

Classe I: Resíduos Perigosos - São aqueles que apresentam pelo menos uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade ou toxicidade. Esses resíduos são considerados perigosos para a saúde humana e o meio ambiente e requerem cuidados especiais na sua gestão e destinação final.

Classe II-A: Resíduos Não Perigosos - São aqueles que não apresentam nenhum dos critérios da Classe I, mas podem ter características como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Classe II-B: Resíduos Não Perigosos - São aqueles que não se enquadram nas Classes I ou II-A. Esses resíduos podem ser reciclados ou reutilizados sem riscos à saúde humana e ao meio ambiente, ou podem ser dispostos em aterros sanitários.

Ainda, CEMPRE (2018) destaca que uma importante forma de classificação do lixo é quanto à origem, ou seja, domiciliar, comercial, varrição e feiras livres, serviços de saúde e hospitalar, portos, aeroportos e terminais ferroviários e rodoviários, industriais, agrícolas e entulhos. É fundamental que todas as decisões ambientais tomadas estejam relacionadas com a correspondente classificação do resíduo e, com base nela, serão definidas as medidas especiais de proteção necessária (PHILIPPI et al., 2004).

### **2.1.3 Gestão dos Resíduos Sólidos**

Um desafiante tema na agenda de políticas públicas ambientais, relaciona-se à crescente geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), a qual, de modo progressista, se conecta com o adensamento urbano, o processo de industrialização e por conseguinte, o aumento do consumo de produtos industrializados e de recursos naturais (OLIVEIRA; JUNIOR, 2016; SOUZA, 2017). Motta (2006) elucida ainda que o incremento na geração per capita de RSU vinculado ao processo de urbanização se mostra mais evidente em regiões metropolitanas, nas quais a geração de resíduos inorgânicos tende a apresentar crescimento considerável quando comparada às demais localidades.

Segundo Cherfem (2015), o gerenciamento e a disposição inadequadas desses resíduos implicam em uma diversidade de impactos, dentre os quais, têm-se, poluição e degradação do solo, poluição de corpos d'água e mananciais, intensificação de enchentes devido ao assoreamento de rios e córregos e obstrução de bueiros, proliferação de moscas, baratas, ratos e outros vetores de importância sanitária, aumento no risco de doenças de veiculação hídrica tais como leptospirose e dengue.

Além dos supraditos, destacam-se ainda, os impactos sociais negativos, a exemplo da coleta de materiais recicláveis realizada, frequentemente, em condições insalubres pelos catadores nas ruas, nos galpões de triagem e/ou nas áreas de disposição final (CHERFEM, 2015).

Ante o exposto, é possível reconhecer que o manejo inadequado desses resíduos tende a facultar a geração de problemas de ordem socioambiental, econômica e de saúde pública, tornando assim, indispensável a efetivação de uma gestão integrada que permita analisar aspectos políticos, técnicos e sociais e que esteja interligado, de forma planejada e prognóstica, à gestão do meio ambiente (JUNIOR; ARANTES, 2019; OLIVEIRA; JUNIOR, 2016).

Em suma, pode-se dizer que a gestão dos RSU é, em essência, um processo com abordagem sistêmica, que deve, necessariamente, envolver inúmeras etapas para o seu efetivo equacionamento, a exemplo da geração alinhada à maximização de seu aproveitamento; acondicionamento; coleta; transporte; transferência; tratamento e disposição final (PEREIRA; CURI; CURI, 2018). Klein Gonçalves-Dias e Jayo (2018) complementam ainda que a referida abordagem deve se basear em diversos princípios que facultem a sustentabilidade ambiental, econômica e social e que permitam o desenvolvimento de soluções pertinentes e compatíveis com a realidade local.

#### **2.1.4 Gerenciamento de Resíduos**

O gerenciamento integrado do resíduo municipal é um conjunto articulado de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que uma administração municipal desenvolve (com base em critérios sanitários, ambientais e econômicos), para coletar, segregar, tratar e dispor o lixo (CEMPRE, 2018).

De acordo com a NBR 17001-1 (ABNT, 2023), o gerenciamento de resíduos compreende às seguintes etapas:

- prevenção e não geração: as atividades de seleção de materiais adequados para o uso; o design adequado de produtos – incluindo bens e equipamentos; a gestão dos processos e atividades voltadas para evitar ou reduzir a geração de resíduos, ou minimizar os riscos à saúde pública e ao meio ambiente;
- a partir da geração: a caracterização do resíduo; a segregação na origem; o acondicionamento; a armazenagem temporária e o planejamento para a destinação;



- operações intermediárias: o transporte de resíduos; a armazenagem temporária, incluindo o transbordo; a manufatura reversa; o preparo ou tratamento dos resíduos para posterior destinação;
- operações de destinação dos resíduos: a reutilização, a reciclagem, a recuperação energética, a eliminação ou a disposição do resíduo.

De acordo com Bringhenti (2004), cabe aos municípios a responsabilidade de realizar o gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos. Tal afirmação, encontra-se ainda disposta na PNRS que em seu Art. 10º premedita ao Distrito Federal e aos Municípios a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados nos respectivos territórios. Todavia, segundo Silva et al. (2004), grande parte dos municípios enfrentam dificuldades no setor, em virtude por exemplo, do despreparo do corpo técnico e gerencial designado para acompanhar todas as etapas que a questão dos resíduos sólidos exige.

### **2.1.5 Coleta e transporte de Resíduos Sólidos**

Conforme a NBR 12.980 (ABNT, 1993, p. 2) a coleta domiciliar é definida como:

“coleta regular dos resíduos domiciliares, formados por resíduos gerados em residências, estabelecimentos comerciais, industriais, públicos e de prestação de serviços, cujos volumes e características sejam compatíveis com a legislação municipal vigente”.

A operação de coleta dos resíduos sólidos domiciliares caracteriza-se pelo envolvimento dos cidadãos, que devem acondicioná-los adequadamente e apresentá-los em dias, locais e horários pré-estabelecidos (BRASILEIRO & LACERDA, 2008). De acordo com a NBR 17001-1 (ABNT, 2023) o transporte de resíduos é a operação de gerenciamento que inclui a coleta e movimentação de resíduos sólidos. Para que o serviço de coleta de lixo ocorra de forma satisfatória, é necessário a implantação de um sistema eficiente, que opere em toda a área urbana e; também, que seja regular, ou seja, os veículos coletores devem passar regularmente nos mesmos locais, dias e horários (BRASILEIRO; LACERDA, 2008). Ainda, para caminhões compactadores a

velocidade média durante a operação de coleta normalmente varia entre 7 e 12 km/h, conforme (JUNIOR; AYALA FILHO, 2010)

Para mais, CEMPRE (2018) destaca que a coleta do lixo e o seu transporte para áreas de tratamento ou destinação final são ações do serviço público municipal, de grande visibilidade para a população, que impedem o desenvolvimento de vetores transmissores de doenças que encontram alimento e abrigo no lixo.

Ainda, Brasileiro e Lacerda (2008) salientam que a operação de coleta, especificamente, absorve uma considerável fatia dos recursos municipais destinados à limpeza urbana. Desta forma, torna-se importante um serviço bem planejado.

### **2.1.6 Referências Normativas**

O Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2010) menciona a importância dos municípios se articularem politicamente com os órgãos de governo federal e estadual, buscando constituírem políticas públicas de resíduos sólidos integradas e complementares à Política Nacional (COSTA, 2010).

A gestão dos resíduos sólidos está incluída nas ações de saneamento básico, como assunto de interesse local (peculiar interesse) do município e como função pública de interesse comum no âmbito metropolitano (CF/88 - art. 25 - §3º e Constituição de MG - art. 43).

Os Estados poderão, mediante lei complementar, instituir agrupamentos de municípios limítrofes para integrar a organização, o planejamento e a execução de funções públicas de interesse comum (CF/88 - art. 25), ressalvada a competência dos municípios tanto para legislar sobre assunto de interesse local e suplementar a legislação federal e a estadual no que couber, quanto para organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, que tem caráter essencial (CF/88 - art. 30).

O Município reger-se-á por Lei Orgânica, atendidos os princípios estabelecidos na Constituição da República e na Constituição do respectivo Estado (CF/88 - art. 29).

Tabela 1 - Legislação sobre Resíduos Sólidos.

<b>Legislação</b>	<b>Título</b>
<b>Federal</b>	
Lei nº 6.938/1981	Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente.
Lei nº 12.305/ 2010	Institui a política nacional de resíduos sólidos.
Lei nº 14.026 / 2020	Atualiza o marco legal do saneamento básico.
Resolução CONAMA nº 307/2002	Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.
Resolução CONAMA nº 313/2002	Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais.
Portaria Interministerial nº 274/2019	Disciplina a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos.
Portaria nº 280/2020	Institui o Manifesto de Transporte de Resíduos - MTR nacional.
NBR nº 12.980/1993	Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos.
NBR nº 13.463/1995	Coleta de resíduos sólidos.
NBR nº 10.004/2004	Classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública.
NBR nº 17.100-1/2023	Gerenciamento de resíduos; Parte 1: Requisitos Gerais.
<b>Estadual</b>	
Lei nº 18.031/2009	Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos.
DN COPAM nº 07/1981	Fixa normas para disposição de resíduos sólidos.
DN COPAM nº 232/2019	Institui o Sistema Estadual de Manifesto de Transporte de Resíduos.
<b>Municipal</b>	
Lei nº 2417/2005	Dispõe sobre a política de proteção, do controle e da conservação do ambiente, da melhoria da qualidade de vida e do desenvolvimento no município de Itabirito.
Lei nº 3041/2014	Dispõe sobre o Plano Municipal de Saneamento Básico de Itabirito.
Lei nº 3562/2021	Dispõe sobre a construção de abrigos para acondicionamento de resíduos sólidos
DECRETO Nº 7632/2005	Regulamenta a Lei Municipal nº 2417, de 11 de julho de 2005.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 2.2 Roteirização da Coleta de Resíduos Sólidos

O crescimento populacional desordenado nas cidades, com aglomerações de pessoas, maior fluxo de veículos e geração de resíduos, torna necessário o

planejamento do transporte e coleta dos resíduos domiciliares em todo o perímetro urbano (OLIVEIRA; JUNIOR, 2016).

Conforme Brasileiro (2004) a roteirização de veículos é a definição de uma ou mais rotas a serem percorridas por veículos de uma frota, passando por locais que devem ser visitados. Ainda, um roteiro de um veículo pode ser definido como a ordem ou sequência que um conjunto de serviços, tarefas ou atendimentos é realizado (CEMPRE, 2018).

O trajeto a ser percorrido por um veículo coletor em um dado período de tempo, em um determinado setor, transportando resíduos em um caminho mínimo e improdutivo com o menor desgaste das equipes e do veículo é intitulado itinerário (JÚNIOR; ARANTES, 2019). Todavia, tais trajetos contemplam, os chamados, percursos improdutivos, os quais referem-se a trechos em que o veículo não realiza coleta ou ainda os chamados percursos mortos, ou seja, aqueles que são repetidos apenas para as manobras em respeito ao trânsito, com o objetivo de acesso a outros locais na sequência utilizada para coleta (JÚNIOR; ARANTE, 2019).

O problema de roteamento dos veículos de coleta de resíduos sólidos nos municípios é atualmente de grande relevância, já que o aumento da preocupação com a correta destinação destes implica na existência de um problema de logística no que tange a obtenção de rotas ótimas que viabilizem a coleta em todos os pontos de demanda (BATISTELLA, 2014). Tais aspectos fortalecem a necessidade de formalizar um percurso de coleta efetivamente produtivo, assim, faz-se necessária a adoção de alternativas com caráter técnico-científico, tal qual, a informatização do serviço de coleta e transporte de resíduos sólidos urbanos.

### **2.2.1 Sistema de Informação Geográfica (SIG)**

De acordo com Câmara, Davis e Monteiro (2001) os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos, diferenciando de sistemas de informação convencional pela sua capacidade de armazenar tanto os atributos descritivos como as geometrias nos diferentes tipos de gráficos.

Conforme Church e Fleury (2002), os Sistemas de Informações Geográficas podem ser definidos como uma coleção organizada de *hardware*, *software*, pessoal qualificado e dados geográficos, com o objetivo de gerenciar banco de dados, efetuando operações de inserção, armazenagem, manipulação, remoção, atualização, análise e visualização de dados, tanto espaciais como não espaciais (dados de atributos), funcionando como uma valiosa ferramenta em estudos de planejamento e gerenciamento.

Para Ferreira (2019), a aplicação do SIG na gestão dos resíduos sólidos urbanos tem se tornado fundamental no que se refere à otimização do processo de coleta, transporte e transbordo dos mesmos. Nos dizeres do autor, a eficiência do sistema relaciona-se com a sua capacidade de estabelecer roteiros que compreendam a localização dos pontos de coleta, prazos e definição das especificações do serviço de recolhimento e deposição final dos resíduos.

A eficiência do SIG, frente à roteirização da coleta de resíduos municipais, pode ainda ser consolidada com o apoio do *Global Position System* (GPS). Nesse aspecto, a aplicabilidade do uso simultâneo dos referidos instrumentos se evidencia na viabilidade do monitoramento em tempo real do serviço de coleta, dos fluxos de materiais recolhidos, as quantidades recolhidas, das rotas efetuadas (FERREIRA, 2019).

### **2.2.2 Modelos de Roteirização**

De maneira geral, os denominados modelos em redes permitem a solução de importantes problemas reais e são de extraordinária aplicação prática (GOLDBARG; LUNA, 2005).

Segundo CEMPRE (2018), dependendo do tipo e da natureza do problema de limpeza pública, as tarefas a serem realizadas ao longo do roteiro podem ser de duas naturezas distintas, levando a duas categorias de modelos:

- modelos baseados em algoritmos para o conhecido problema do carteiro chinês;
- modelos baseados em algoritmos para o problema do caixeiro viajante.

Na dimensão da solução, esses modelos permitem o aperfeiçoamento de conhecidas e tradicionais técnicas, de modo a alcançarem uma enorme eficiência no seu processo de resolução (GOLDBARG; LUNA, 2005). Todavia, para um problema real, a escolha do método deverá ser acompanhada de um estudo criterioso de seleção a partir do qual o método mais propício para a resolução de determinado problema será indicado (BATTISTELLA, 2014).

### **2.2.2.1 Problema do Carteiro Chinês**

O problema do Carteiro Chinês (PCC) é um problema de otimização de rota que objetiva cobrir com um passeio (ou *tour*) todos os arcos do grafo, minimizando a distância total percorrida (GOLDBARG; LUNA, 2005).

CEMPRE (2018), destaca que no modelo PCC as tarefas a serem cumpridas pelos veículos consistem em trechos de ruas a serem percorridos, como ocorre em problemas de coleta domiciliar ou de varrição; nesse caso, não há pontos ou locais específicos a serem atendidos; todos os quarteirões e trechos de via necessitam ser percorridos para a coleta do lixo ou a varrição. Nesse caso, a otimização está relacionada para assegurar a minimização do percurso improdutivo dos veículos (que implica custo e perda de tempo), decorrente da passagem do veículo em algumas vias ou trechos de via por mais de uma vez, de forma a permitir atingir e trafegar por outras vias, em função de problemas de circulação (mãos e contramãos) e de tráfego de veículo.

### **2.2.2.2 Problema do Caixeiro Viajante**

De acordo com Junior e Arantes (2019) o problema do caixeiro viajante (PCV) consiste em procurar um circuito que possua a menor distância, começando em um nó inicial, visitando todos os demais nós precisamente uma vez e regressando ao nó inicial.

CEMPRE (2018), no contexto, elucida que as tarefas a serem realizadas durante os roteiros correspondem a pontos ou locais específicos que devem ser visitados, como ocorre em problemas de coleta de resíduos de saúde ou de lixo industrial, onde há pontos específicos e bem localizados para coleta ou atendimento; neste caso, a otimização está relacionada à melhor sequência de visita aos pontos, de forma a minimizar o percurso total, atendendo às restrições de circulação de veículos e de horário de atendimento.

### 2.2.3 Estudos Similares

Estudos que trazem em sua metodologia a roteirização da coleta com a utilização do SIG, têm sido amplamente relatados na literatura, a exemplo de Júnior e Arantes (2019), os quais desenvolveram uma modelagem de rotas de coleta em um estudo de caso em uma cidade de pequeno porte com apoio do *software* ArcGIS, alcançando uma redução de 40% de distância total percorrida, e Ayala Filho (2016), o qual, em seu estudo, avaliou a possibilidade de utilização de SIG *Open Source* em análises peculiares ao transporte.

Costa, Nascimento e Ometto (2019) utilizaram o *software* ArcGIS para otimização de rotas dos veículos de coleta de RSU dos municípios de Barra do Ribeiro e Novo Hamburgo no estado do Rio Grande do Sul. O qual, se mostrou eficiente ao alcançar seu objetivo de percorrer caminhos no menor tempo com a menor distância percorrida.

Pascoal Jr. e Oliveira Filho (2010) utilizaram SIG através do *software* Spring (v.5.1.3), para avaliar o roteiro de coleta de resíduos sólidos domiciliares da região central da área urbana de Irati, PR, obtendo o percentual de percurso improdutivo de 30,84% em relação à rota atual utilizada pela prefeitura.

Brasileiro e Lacerda (2008) com o objetivo de minimizar a extensão total a ser percorrida pelos veículos coletores de Ilha Solteira, localizada na região noroeste do Estado de São Paulo, utilizaram o *software* TransCAD, versão 3.2, que permite

desenvolver rotas utilizando algoritmos que incluem o procedimento de roteirização em arco, obtendo reduções percentuais de até 41% na distância total percorrida e, de 68% no tempo total de percurso, em relação ao serviço atual.

Com isso, constata-se que as soluções de otimização de rotas, quando comparadas com rotas já existentes, demonstram redução de custos, sendo em alguns casos bastante significativa (BATTISTELLA, 2014).



## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Materiais

Para o trabalho apresentado será aplicado o sistema de rede, em ambiente SIG sendo utilizados dois *softwares*, QGIS versão 3.22.14 e ArcGIS versão 10.8.

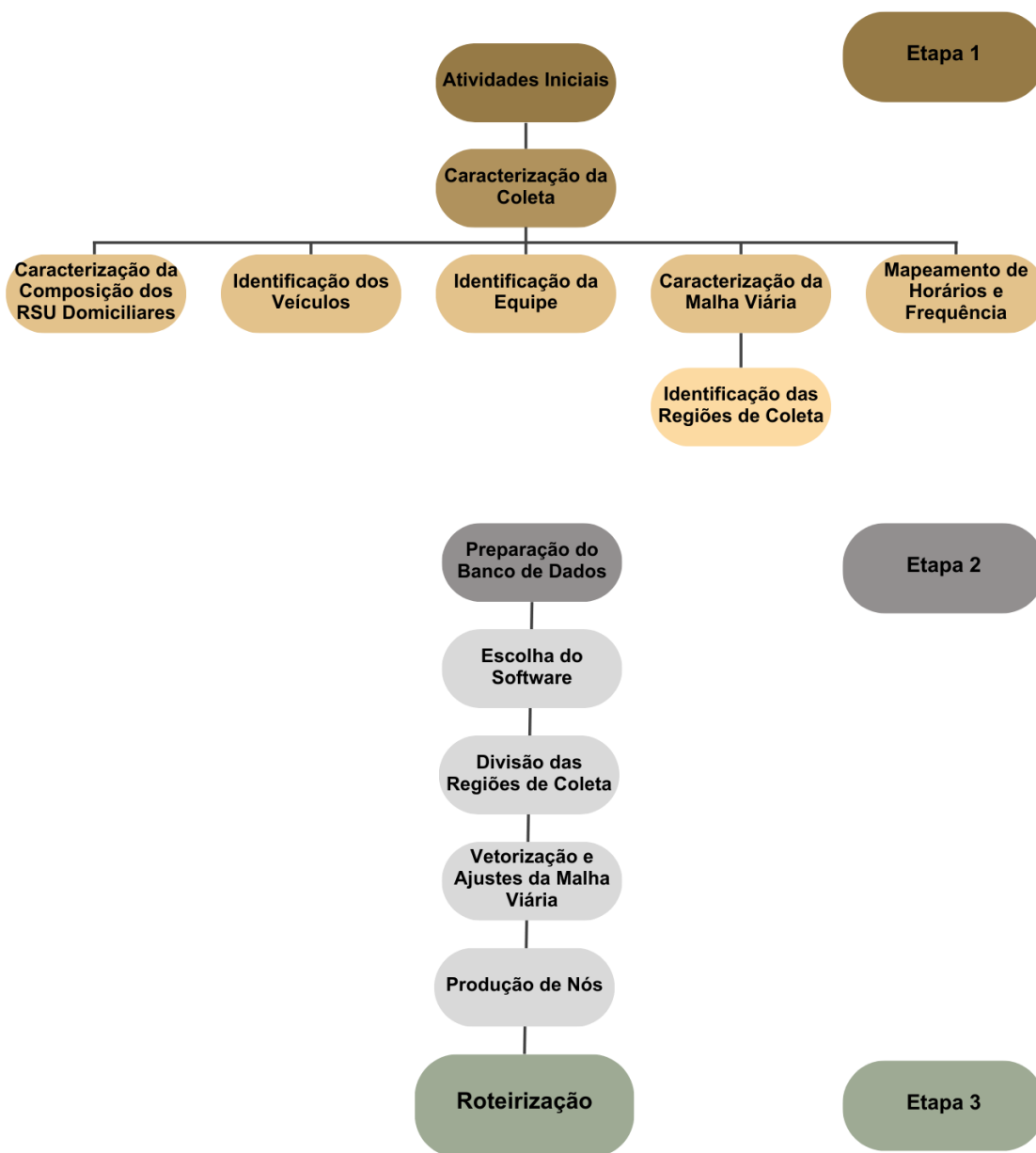
O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU, que é uma licença livre de direitos autorais para *softwares* e outros tipos de trabalhos (GNU.org, 2023). O QGIS é um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo) e funciona nos principais sistemas operacionais atuais: *Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android*, suportando inúmeros formatos de vetores, *rasters* e bases de dados e funcionalidades. Sendo sua última versão lançada, o QGIS 3.30 (QGIS.org, 2023).

Já o ArcGIS, é composto de um grupo de programas que constituem um SIG. Sendo produzido pela empresa americana ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), apresenta ferramentas que permitem visualização, análise e manipulação de *shapefiles* e *geodatabases* (OLIVEIRA, 2014). É uma parte fundamental para que profissionais de GIS possam criar, analisar, gerenciar e compartilhar informações geográficas para que os tomadores de decisão possam tomar decisões inteligentes e informadas (ArcGIS, 2023)

### 3.2 Métodos

Nesta etapa foram descritos os elementos necessários para atingir os objetivos deste estudo. Os problemas identificados foram solucionados através de ferramentas SIG, as etapas de desenvolvimento estão especificadas conforme fluxograma de metodologia estabelecido (Figura 1).

Figura 1 - Fluxograma de apresentação das etapas do trabalho.

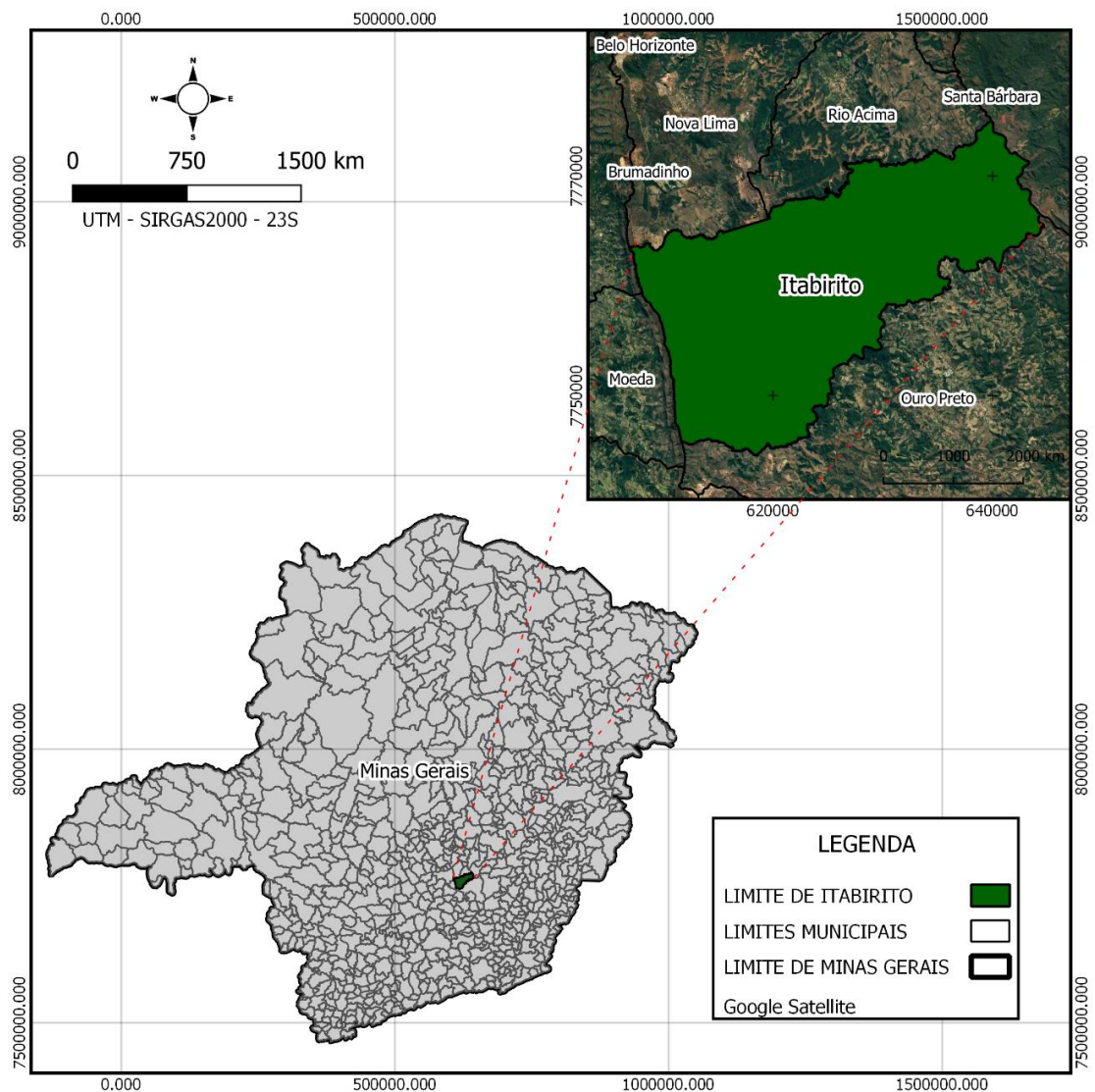


Fonte: Adaptado de Júnior e Arantes (2019).

### 3.2.1 Local de Estudo

O município de Itabirito encontra-se na mesorregião metropolitana de Belo Horizonte, em Minas Gerais, que, juntamente com os municípios Diogo de Vasconcelos, Mariana e Ouro Preto, integra a microrregião de Ouro Preto (IBGE, 2010) (Figura 2).

Figura 2 - Localização do município de Itabirito/MG.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A cidade está localizada a meia distância entre o município de Ouro Preto (48 km) e a capital do estado, Belo Horizonte (58 km), sendo interceptado pela Rodovia dos Inconfidentes, BR 356, BR 040 e MG 030. Ademais, o município tem sua posição determinada pelas coordenadas  $20^{\circ} 15' 10''$ S de Latitude e  $43^{\circ} 48' 03''$ W de Longitude e área total correspondente a 544,027 km<sup>2</sup>, sendo limitada pelos municípios de

Moeda, Brumadinho, Nova Lima, Rio Acima, Santa Bárbara e Ouro Preto (IBGE, 2019).

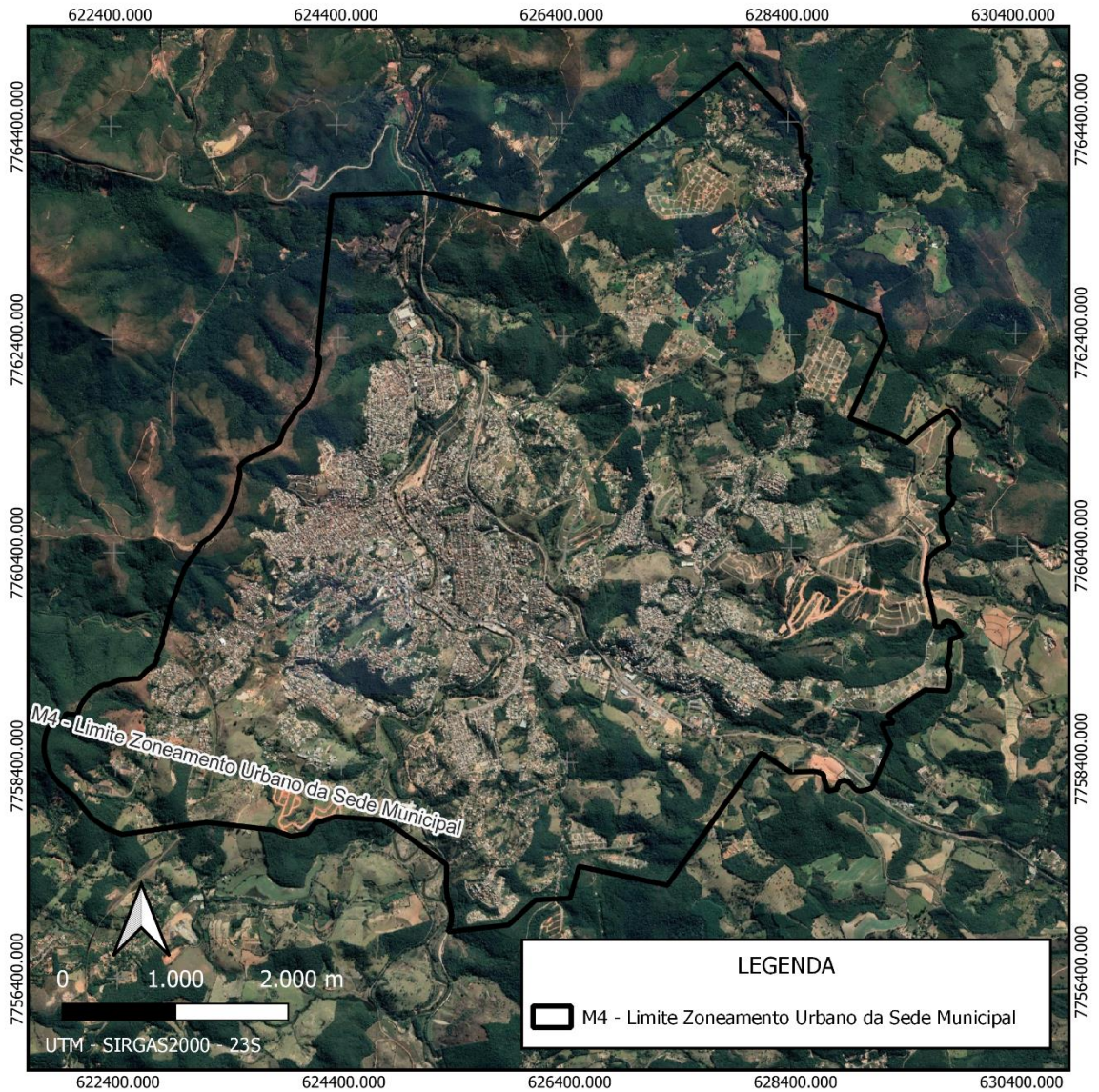
A área de estudo corresponde à área urbana da sede municipal (Figura 3), de acordo com o Art. 1, parágrafo único, da Lei Municipal nº 3.324, de 08 de junho de 2019 (ITABIRITO, 2019, p. 2), estas são definidas como:

Art. 1º - Esta Lei estabelece os perímetros dos Distritos e demais áreas urbanas que compõem o Município de Itabirito/MG.

Parágrafo Único - Para efeitos de interpretação e aplicação desta Lei são adotadas as seguintes definições:

- I. Município: É ente jurídico e político, com poder de autogoverno, autoadministração e organização própria, dotado de competência legislativa privativa e integrante da federação brasileira, seu fundamento de existência está ligado diretamente aos textos dos artigos 1º, 18, 29, 30 e 31 da Constituição Federal de 1988;
- II. Sede Municipal: É um núcleo urbano, independentemente do número de sua população, que concentre processo econômico predominantemente não-agrícola e que se configure como sede do Governo Municipal;
- III. Zona Urbana ou Área Urbana: Sob o aspecto político-administrativo, a zona urbana ou área urbana é aquela situada dentro dos perímetros urbanos instituídos por lei municipal;

Figura 3 - Mapa dos limites da sede municipal de Itabirito



Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo o IBGE, em parceria com os Órgãos Estaduais de Estatística, Secretarias Estaduais de Governo e Superintendência, no ano de 2020 o município ocupava o 17º lugar no ranking de PIB de Minas Gerais que alcançou um total de R\$6.653.271,97 (IBGE, 2020). Para o município a geração de emprego e renda decorre historicamente, das atividades minerárias, mas possui uma crescente

diversificação das atividades comerciais e de prestação de serviços, com significativos investimentos da indústria, abrigando alguns complexos industriais onde se destacam os setores de bebidas, mineração, siderurgia e comércio.

De acordo com o Plano Socioeconômico 2018, o Índice de Desenvolvimento Humano do município de Itabirito é de 0,730, valor que enquadra o IDH municipal ao Índice de Desenvolvimento Humano Nacional Alto (ADESITA, 2018).

O último censo realizado em 2022 apontou um total de 53.282 habitantes para o município. Ressalta-se que entre os anos de 1991 e 2000 a população do município obteve um crescimento com uma taxa média anual de 1,87% ao passo que em todo o Brasil o percentual de crescimento para o mesmo período foi de 1,63%. (ATLAS BRASIL, 2013). O crescimento populacional de Itabirito também é influenciado através da população flutuante gerada pelo setor de mineração e indústrias.

A demonstração do quantitativo populacional, taxa de urbanização e densidade demográfica, encontram-se dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados sobre a população advindos dos Censos 1991/2000/2010.

<b>Crescimento da População</b>				
<b>Dados da Populacional</b>	<b>1991</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>	<b>2022</b>
<b>População total (hab.)</b>	32.091	37.901	45.449	53.282
<b>Urbana</b>	28.678	35.245	43.566	51.151
<b>Rural</b>	3.413	2.656	1.883	2.131
<b>Taxa de urbanização (%)</b>	89,36	92,99	95,86	96%
<b>Densidade demográfica (hab./km<sup>2</sup>)</b>	59,14	68,9	83,76	97,94

Fonte: Fundação João Pinheiro (2003) e dados projetados de acordo com IBGE (2022).

### **3.2.2 Caracterização da gestão dos resíduos sólidos urbanos em Itabirito/MG**

Nesta seção, descreve-se a abordagem metodológica utilizada para caracterizar a gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de Itabirito, estado de Minas Gerais. A caracterização da gestão dos resíduos sólidos urbanos compreende um conjunto de etapas que visam obter informações detalhadas sobre as práticas e processos envolvidos na coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos no contexto específico do município em estudo.

O primeiro passo foi identificar a situação atual da coleta de resíduos sólidos da cidade através de solicitações endereçadas para o atual gestor do setor. Os dados para caracterização da gestão de resíduos sólidos foram cedidos pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAM). Também foram utilizados dados municipais disponíveis no Diagnóstico Temático – Manejo de Resíduos Urbanos (SNIS, 2020). Posteriormente, foram submetidos a processos de análise descritiva e interpretativa.

Inicialmente, foi realizada a delimitação do escopo geográfico. O município de Itabirito foi selecionado como área de estudo devido à sua representatividade e relevância no cenário regional de gestão de resíduos sólidos.

Para a caracterização dos serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares, foi necessário fazer um levantamento de como este trabalho é realizado no município.

Para identificar a situação atual foi necessário buscar informações quanto à caracterização dos resíduos domiciliares:

- Identificação da classe e composição dos resíduos;
- Classificação quanto à origem e natureza;
- Características físicas (Geração *per capita*, Composição gravimétrica, Peso específico aparente, Teor de umidade, e Compressividade);
- Identificação dos veículos utilizados;
- Identificação da equipe de coleta;
- Caracterização da rota atual com dados coletados na SEMAM; e
- Mapeamento de horários e frequência.

### 3.2.3 Preparação de bancos de dados para estudos de transporte

De acordo com CEMPRE (2018), para dimensionar os serviços e equipamentos para a coleta e transporte de resíduos, é necessário realizar um levantamento dos dados conforme os seguintes itens:

- Desenvolvimento do mapa geral do município;
- Definição dos setores de coleta;
- Definição do sentido do tráfego das avenidas e ruas;
- Estimativa do volume de resíduos a ser coletado;
- Estimativa dos parâmetros operacionais por setor;
- Definição dos horários e frequências de coleta;
- Dimensionamento e listagem dos veículos disponíveis e respectivas capacidades;
- Definição dos itinerários de coleta.

Os dados de geoprocessamento foram espacializados para edição, no *software* QGis versão 3.22.14. As bases vetoriais de limites do município, área urbana, bairros e macrozonas, foram cedidas pelo setor de geoprocessamento da SEMAM (2023).

Os dados obtidos foram armazenados no formato *Shapefile*, utilizado para armazenar e exibir dados geoespaciais. As etapas de preparação do banco de dados consistiram em:

- Definição das variáveis a serem coletadas;
- Coleta dos dados;
- Verificação da integridade dos dados;
- Inserção dos dados;
- Validação, limpeza e ajuste dos dados.

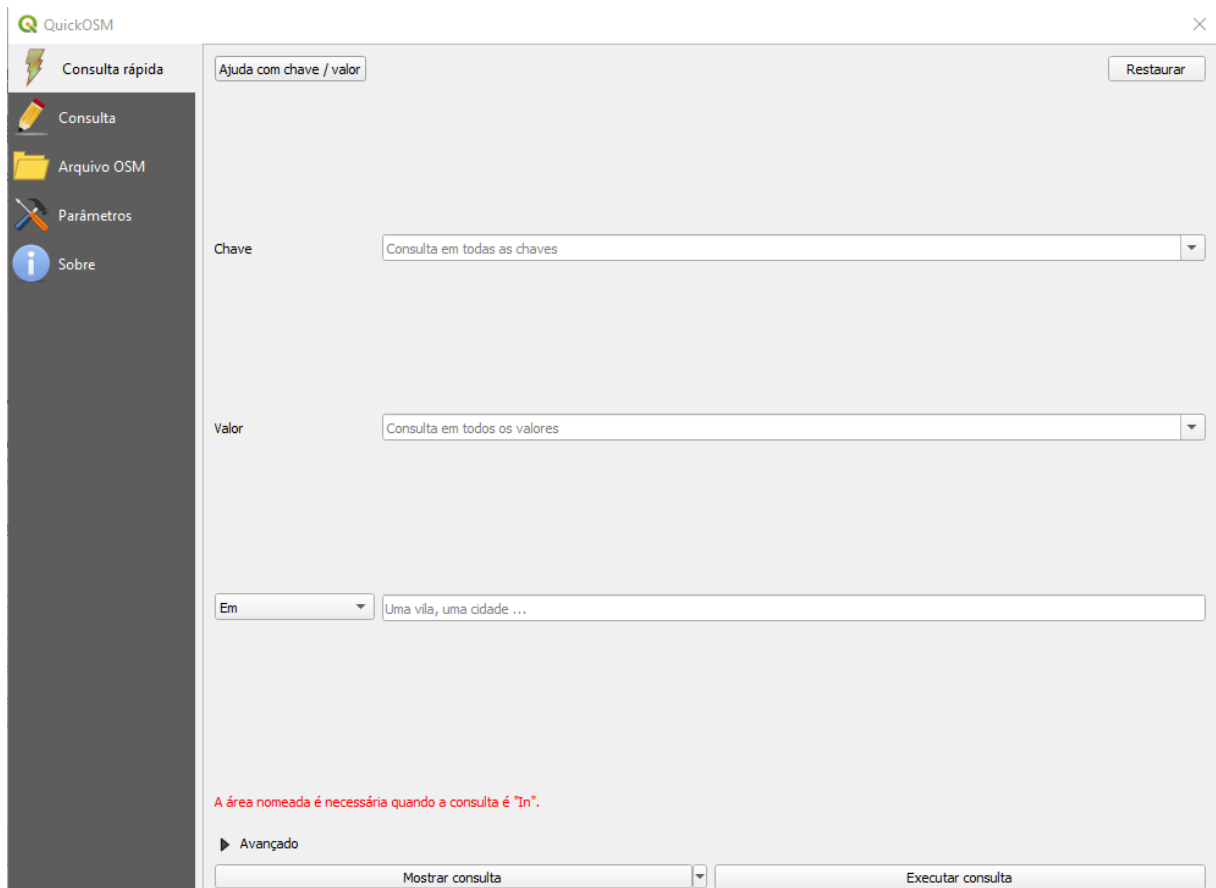


### 3.2.3.1.1 Vetorização e ajustes

Utilizou-se dentro do *software* QGis versão 3.22.14 o *plugin* da plataforma de mapeamento colaborativo, gratuita e de código aberto *OpenStreetMap* (OSM), conforme (Figura 4), para obter as vias do município, ainda, a plotagem da rede foi realizada no formato *shapefile* e georreferenciada no datum SIRGAS 2000, de acordo com a (Figura 5).

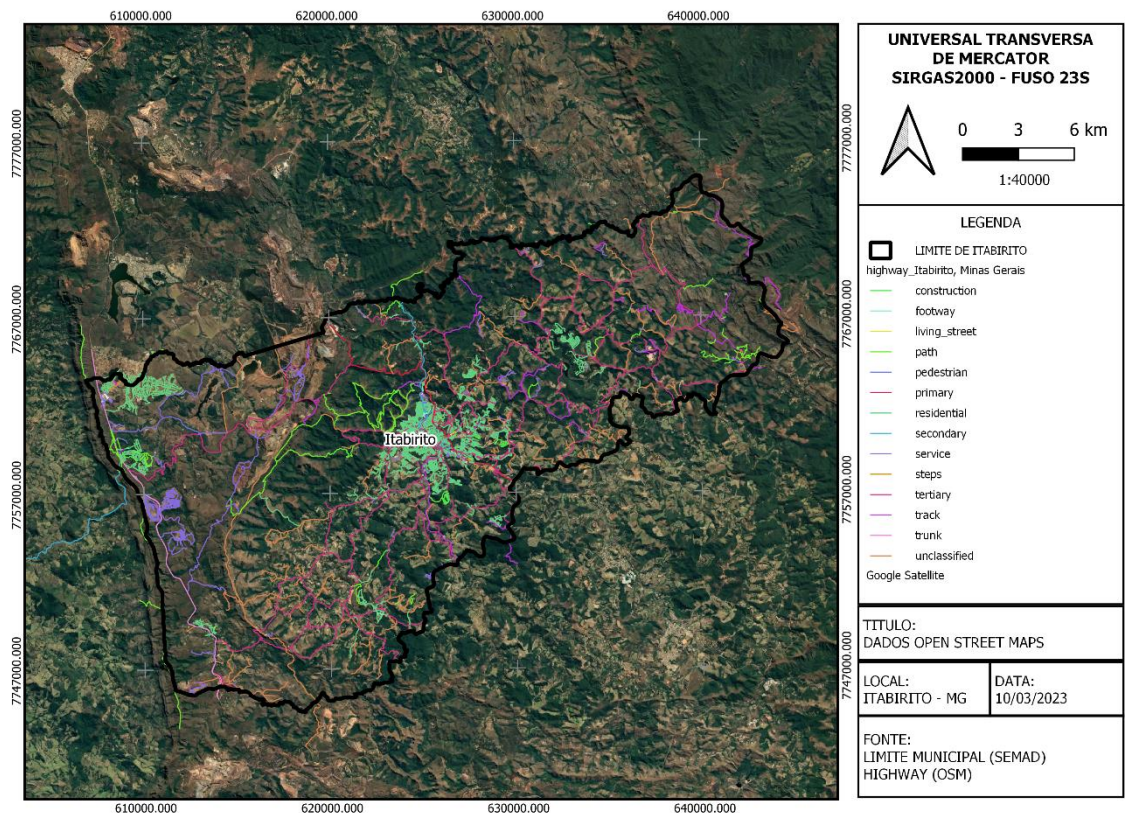
A primeira etapa foi o ajuste da localização das ruas através do processo de vetorização (formato linha). Cruzou-se a localização das ruas e avenidas do banco de dados no formato *raster* com o *shapefile* do sistema viário do município para identificação de possíveis falhas existentes, a fim de corrigi-las quando necessário através do processo de vetorização, também foram retiradas as vias que não seriam necessárias, como vias de pedestre, ciclistas, serviços e também as não identificadas.

Figura 4 - Janela do plugin OSM.



Fonte: OpenStreetMap, 2023.

Figura 5 - Mapa da rede viária de Itabirito obtida do OSM sem tratamento.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

### 3.2.4 Definição de rotas de coleta de resíduos sólidos para Itabirito/MG

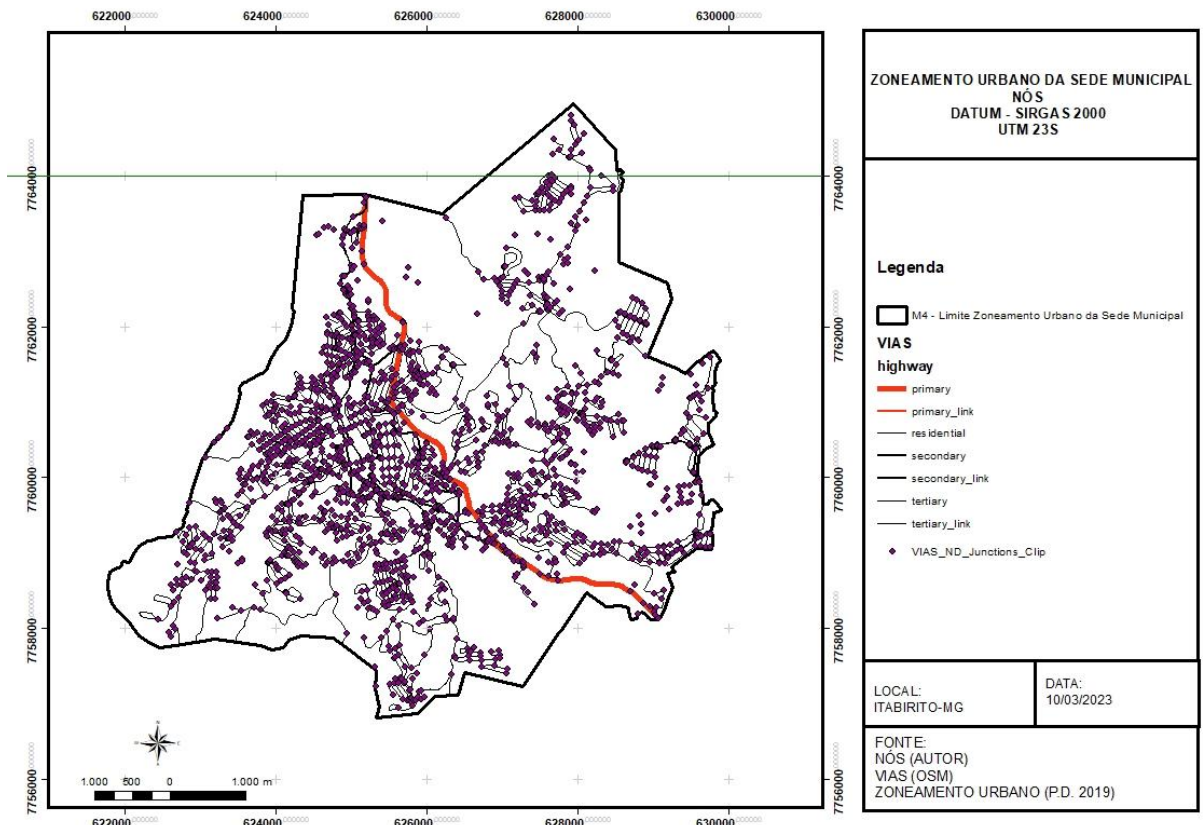
Para viabilizar o procedimento de roteirização, é necessário que sejam determinadas as extensões das vias que compõem a malha viária. A geração de pontos nodais, que corresponde a essa etapa, pode ser concretizada mediante várias abordagens distintas. É crucial salientar que a produção de tais pontos nodais assume um papel fundamental no contexto da criação de itinerários de deslocamento eficazes.

A elaboração da estrutura de rede gráfica se fundamentou no PCC. Essa escolha se justifica pela afinidade entre as operações de coleta domiciliar e serviços de varrição e as propriedades inerentes ao PCC. Isso decorre do fato de que o veículo de coleta necessita percorrer integralmente todas as vias urbanas, representadas como "arcos" no âmbito desse problema de otimização específico.

Portanto, após a conclusão do procedimento de vetorização da rede viária do município, foram criados pontos nodais tanto nos *endpoints* quanto nos pontos de interseção dos segmentos da referida rede, conforme (Figura 6), com o objetivo de

atribuir referências espaciais para o *software*, indicando os locais onde tais interseções e pontos terminais se encontram. Com base nesse contexto, o *software* passa a administrar e apresentar esses nós de maneira nítida e intuitiva, simplificando, assim, o processo de elaboração de decisões.

Figura 6 - Mapa dos nós gerados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

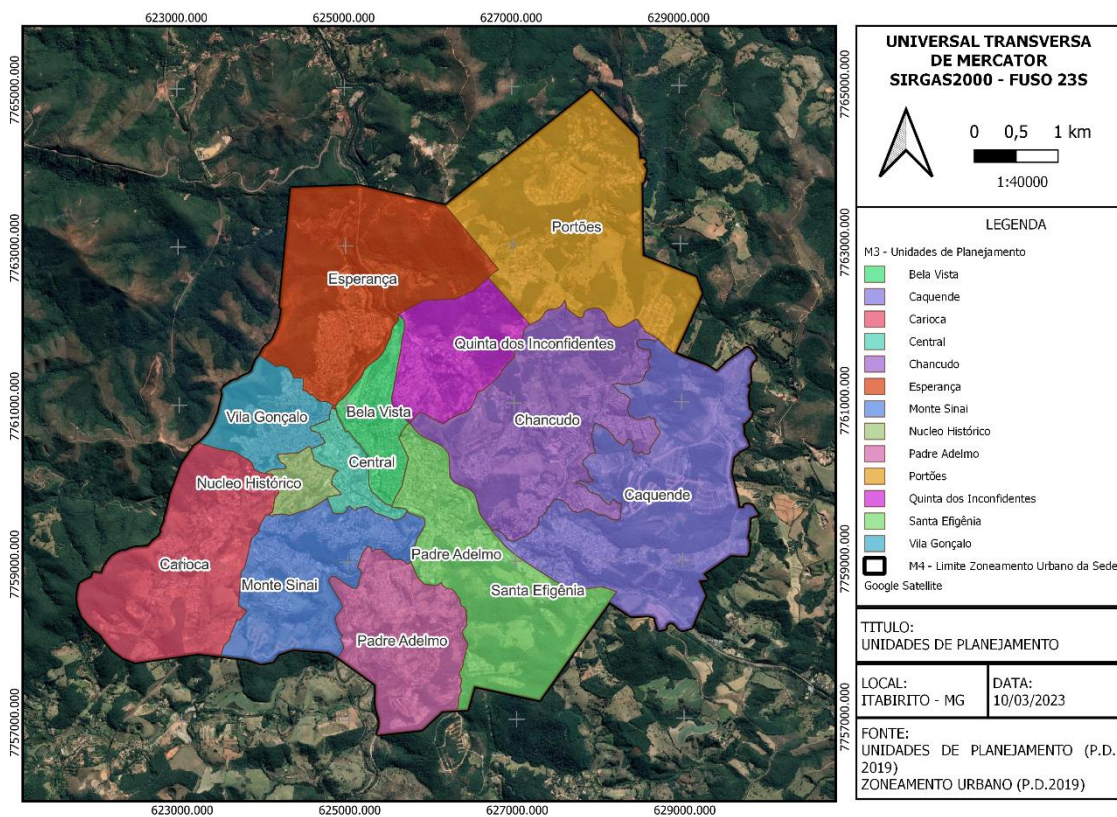
A seleção das regiões de coleta foi realizada de acordo com a (Figura 7), conforme definido no Art. 37, da Lei Municipal nº 3.323, de 08 de junho de 2019 (ITABIRITO, 2019, p. 34):

“Art. 37 - Os órgãos responsáveis pelas políticas públicas municipais deverão adotar as Unidades de Planejamento - UP, apresentadas no Mapa 3 desta Lei, como referência territorial para o desenvolvimento de planos setoriais, programas e projetos, objetivando reduzir as desigualdades regionais na Sede Municipal.

Parágrafo Único - A Zona Urbana do Distrito Sede de Itabirito está dividida nas seguintes Unidades de Planejamento:

- I. UP BelaVista;
- II. UP Carioca;
- III. UP Caquende;
- IV. UP Central;
- V. UP Chancudo;
- VI. UP Esperança;
- VII. UP Monte Sinai;
- VIII. UP Núcleo Histórico;
- IX. UP Padre Adelmo;
- X. UP Portões;
- XI. UP Quinta dos Inconfidentes;
- XII. UP Santa Efigênia;
- XIII. UP Vila Gonçalves”.

Figura 7 - Mapa das Unidades de Planejamento de Itabirito.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

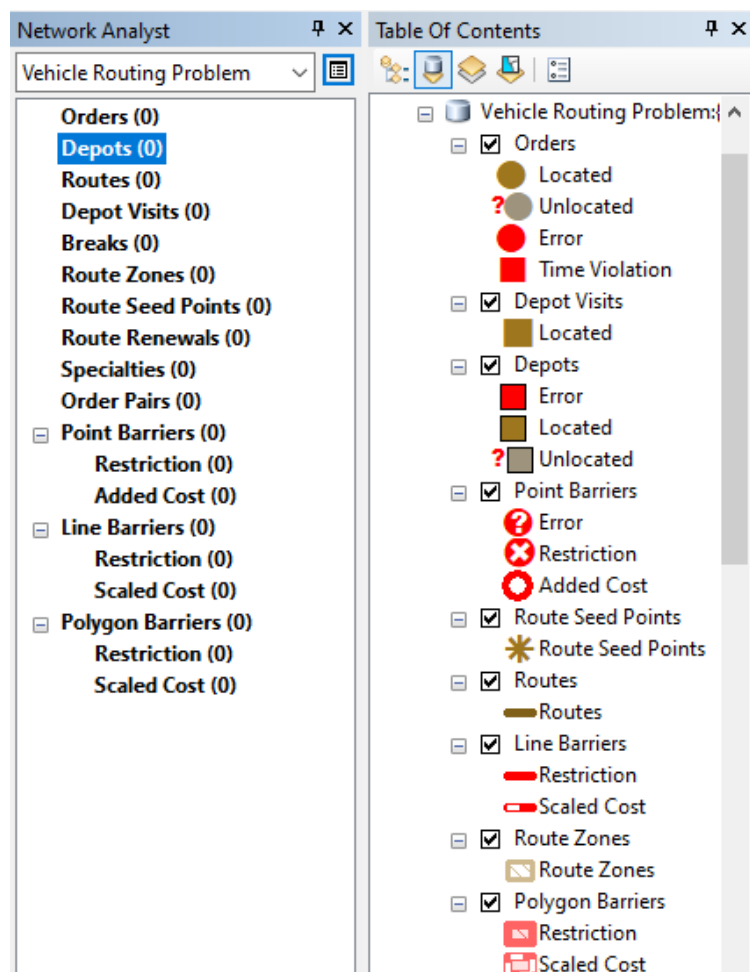
### 3.2.4.1 Roteirização

A ferramenta utilizada para realizar a roteirização foi o *Network Analyst*. Dentro das opções de uso da ferramenta, foi utilizada a sua extensão *Vehicle Routing*

*Problem* (VRP) que permite a criação de modelos de rede que representam o fluxo de tráfego através de uma rede para determinação da melhor rota para chegar a um destino, considerando rotas mais curtas e eficientes, a fim de otimizar operações e reduzir custos.

A ferramenta possui outras usabilidades para roteirização, fluxo de recursos, transporte de materiais, entre outras que não serão tratadas neste estudo. A seguir (Figura 8) é apresentada a janela do *Network Analyst* e do *layer* do VRP.

Figura 8 - Janela do Network Analyst e do layer do VRP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

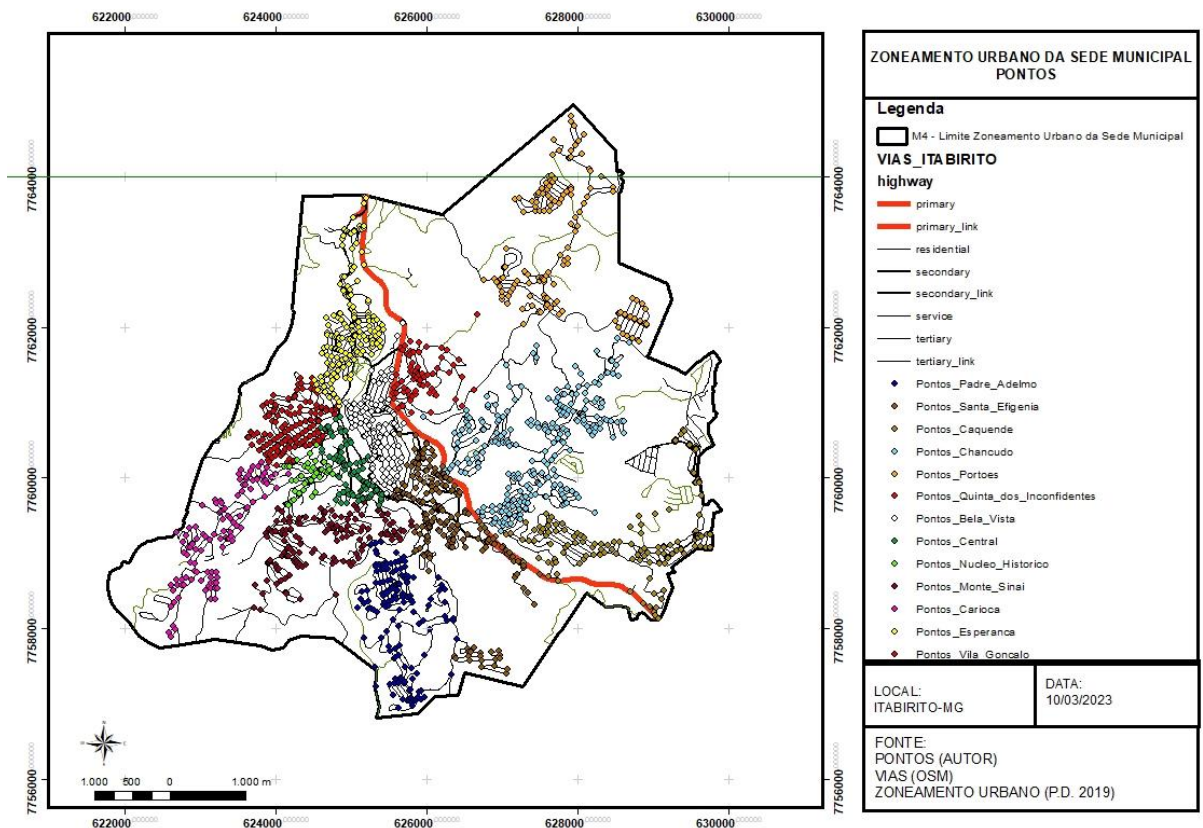
Conforme é realizada sua operação alguns pontos são importantes para definição das rotas a serem geradas sendo eles:

- **Depots:** pontos de saída e chegada do veículo;
- **Orders:** pontos de visita para realização da roteirização;
- **Route:** configura-se o itinerário a ser percorrido;
- **Point/Line/Polygon Barries:** estruturas que impedem que o itinerário percorra aquele percurso.

Os “Orders” foram distribuídos através dos pontos médios das vias, interseções e *endpoints* para a passagem do caminhão de RSU durante a coleta, conforme (Figura 9). Observa-se que foram arbitrados de acordo com a definição das regiões definidas, através do plano diretor municipal.

Assim foi executado o processo de roteirização, desta forma o modelo de *Vehicle Route Problem* calculou as rotas mais eficientes por setor, levando em consideração as restrições de menor distância e tempo de serviço.

Figura 9 - Mapa de pontos de referência.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Foram geradas também as distâncias percorridas por rota, consideradas as regiões de operação, desenvolvida pelo *VRP*. Os dados obtidos possibilitaram uma avaliação do parâmetro com as rotas atuais.

A partir da configuração da ferramenta Network Analyst e extensão *VRP*, pôde-se realizar o cálculo das rotas, percorrendo todos os pontos de visita distribuídos ao longo da malha viária do município, definindo o ponto de saída e chegada.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 Gestão dos resíduos sólidos urbanos no Município de Itabirito (MG)**

#### **4.1.1 Caracterização dos resíduos do município**

Em Itabirito, a SEMAM é responsável pela administração do aterro e fiscalização geral dos serviços. Os demais serviços são terceirizados, sendo eles a coleta convencional, locação de contêiner com tampa de 1000 e 240 litros e a operação e monitoramento do aterro sanitário executados pela empresa LIMPURB.

Atualmente, a coleta de resíduos domiciliares, a coleta convencional e a operação do aterro sanitário são realizadas pela empresa LIMPURB, atendendo à área urbana e rural. A coleta seletiva é realizada por duas associações de materiais recicláveis a Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Itabirito (ASCITO) e a Associação Mineira de Catadores de Materiais Recicláveis (RECICLAR).

De acordo com a SEMAM, o município de Itabirito possui um aterro sanitário devidamente licenciado, com equipamentos e procedimentos adequados para a disposição dos resíduos sólidos, finalizando na cota 1019 m.

A tarifação dos serviços de limpeza urbana, coleta e destinação dos resíduos sólidos no município de Itabirito é efetuada por intermédio da imposição de uma taxa vinculada ao Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU). Consequentemente, os encargos inerentes à execução desses serviços são transferidos para os residentes locais.

De acordo com o Diagnóstico de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (2010), elaborado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), no Brasil a geração de resíduos sólidos domiciliares e de limpeza pública é de aproximadamente 0,93 kg/hab/dia.

Conforme o SNIS (2020), observa-se que as despesas per capita com RSU alcançam o valor de R\$ 92,66 (Tabela 3). Além disso, a taxa de cobertura da coleta de Resíduos Domiciliares Orgânicos (RDO) em relação à população total e à população urbana é atinge 87,61% e 87,52%, respectivamente. Contudo, a taxa de cobertura de coleta direta de RDO relativa à população urbana é ligeiramente menor,



situando-se em 79,57%. A terceirização da coleta é total, alcançando 100%, enquanto a produtividade média dos coletadores e motoristas é de 3.744,22 Kg por empregado por dia. A taxa de motoristas e coletadores por habitante urbano é de 0,10%, e a massa de resíduos domiciliares e públicos coletados per capita em relação à população total atendida no município é de 0,38 kg/hab./dia. A relação entre a massa de RDO coletada per capita em relação à população total atendida é de 0,31 Kg por dia. O custo unitário da coleta é de R\$ 410,49, e sua incidência no custo total do manejo é significativa, correspondendo a 61,91%.

Tabela 3 - Indicadores do Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos.

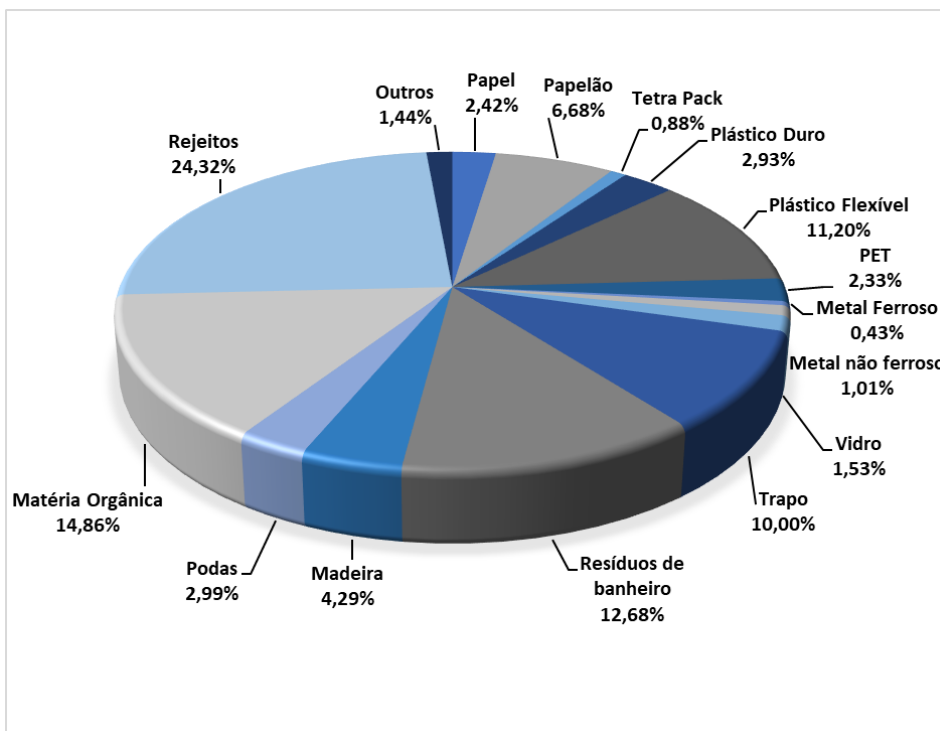
<b>Indicadores do Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (SNIS,2020)</b>	
<b>Nome do órgão responsável pela gestão</b>	Prefeitura Municipal de Itabirito
<b>Natureza jurídica do órgão municipal responsável</b>	Administração pública direta
<b>Despesas per capita com RSU (R\$/habitante)</b>	R\$ 92,66
<b>Tx cobertura da coleta RDO em relação à pop. Total (%)</b>	87,61%
<b>Tx cobertura da coleta RDO em relação à pop. Urbana (%)</b>	87,52%
<b>Tx. cobertura de coleta direta RDO relativo à pop. Urbana (%)</b>	79,57%
<b>Taxa de terceirização da coleta (%)</b>	100,00%
<b>Produtividades média de coletadores e motorista (Kg/empregadox dia)</b>	3.744,22
<b>Taxa de motoristas e coletadores por habitante urbano</b>	0,10%
<b>Massa [RDO+RPU] coletada per capita em relação à pop. Urbana (Kg/(hab.x dia))</b>	0,38 kg
<b>Massa RDO coletada per capita em relação à pop. total atendida (Kg/(hab.x dia))</b>	0,31 kg
<b>Custo unitário da coleta</b>	R\$ 410,49
<b>Incidência do custo da coleta no custo total do manejo</b>	61,91%

Fonte: Adaptado de SNIS, 2020.

Conforme Bidone e Povinelli (1999) a geração de resíduos está diretamente relacionada a fatores como o estilo de vida da população, a abrangência da coleta domiciliar e seletiva e a existência de uma política de gestão de resíduos sólidos. Estima-se que sejam coletadas 30 a 45 toneladas de resíduos por dia no município de Itabirito, envolvendo os domésticos e os de varrição, segundo dados cedidos pela Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAM, 2023).

As informações fornecidas na (Figura 10) referem-se, para cada tipo de resíduo, à fração percentual correspondente ao total de resíduos analisados considerando a análise gravimétrica realizada no município em questão.

Figura 10 - Tipologia e distribuição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos gerados no município de Itabirito.

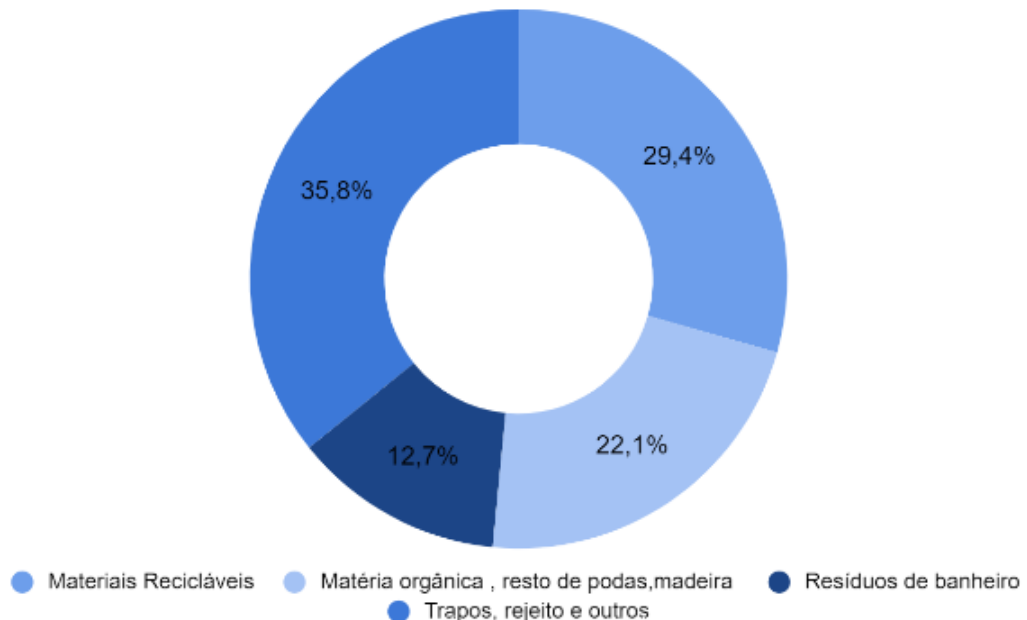


Fonte: Adaptado de CONSANE (2022).

Conforme CONSANE (2022) com a composição gravimétrica dos resíduos sólidos no município de Itabirito, foi possível determinar as diferentes classes de resíduos e suas porcentagens, sendo elas: 35,8% classificados como trapo, rejeitos e outros, 29,4% contabilizam como materiais recicláveis, entre eles papel, papelão, tetra pack,

plástico duro, plástico flexível, PET, metal e vidro. De resíduos de matéria orgânica foi estimado 22,1% e 12,7% foi identificado como resíduos de banheiro (Figura 11).

Figura 11 - Porcentagem de Resíduos gerados no município de Itabirito/MG.



Fonte: CONSANE (2022).

#### 4.1.2 Coleta convencional no município

Conforme dados obtidos através da SEMAM, o serviço de coleta de resíduos sólidos em Itabirito é realizado diariamente e alternadamente entre os bairros da cidade. A coleta é feita em dois turnos: pela manhã e à tarde. Os resíduos são recolhidos em caminhões compactadores com capacidade de 15m<sup>3</sup>, sendo disponibilizado um caminhão por rota, havendo a realização de duas rotas por turno. A guarnição é composta de três garis e um motorista conduzindo o veículo. Os resíduos coletados são levados para o aterro sanitário do município.

De acordo com a SEMAM a segregação dos resíduos recicláveis é feita pelos próprios moradores, que devem colocar o material reciclável em sacos separados do acondicionamento de resíduos comuns, de características orgânicas e rejeitos. A

coleta seletiva é realizada por associações de catadores de materiais recicláveis uma vez por semana, em dias específicos para cada bairro.

Além disso, segundo SEMAM a Prefeitura Municipal de Itabirito realiza campanhas educativas para conscientização da população sobre a importância da coleta seletiva e da separação correta dos resíduos, visando a redução da quantidade de resíduos sólidos produzidos e o aumento da reciclagem através do seu Centro de Educação Ambiental (CEA).

O serviço de coleta é realizado em dois turnos, o primeiro partindo da garagem às sete horas da manhã e retornando por volta das 15 horas e 20 minutos, e o segundo partindo da garagem às 16 horas e retornando por volta de 00 horas e 20 minutos, de segunda a sábado, descarregando o veículo no aterro sanitário da cidade (Tabela 4 e 5) (Figura 12).

Tabela 4 - Programação Coleta de Resíduos Domiciliares no município de Itabirito/MG.

<b>Rotas de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares - Área Urbana</b>		
<b>Dia/Horário</b>	<b>Manhã (7h às 15h20)</b>	<b>Tarde (16h às 00h20)</b>
<b>Segunda, Quarta e Sexta</b>	BEM VIVER, BOA VIAGEM, CARDOSO, CRUZ DAS ALMAS, CENTRO, CONDOMÍNIO SANTA CLARA, DONA LUIZINHA, MONTE SINAI, NOVO HORIZONTE, PADRE ADELMO, PADRE EUSTÁQUIO, PRAIA, SANTA TEREZA, SÃO GERALDO, SAUDADE, TOMBADOURO, VILA GONÇALO.	AGOSTINHO RODRIGUES, CAPANEMA, CENTRO, COHAB, ESPERANÇA, DISTRITO INDUSTRIAL, DONA LILA, FUNCIONÁRIOS, IAPI, JOÃO CAROLINO, NOSSA SENHORA DE FÁTIMA, QUINTA DOS INCONFIDENTES, RODOVIA DOS INCONFIDENTES, SANTO ANTÔNIO, SERRA AZUL, VILA JOSÉ LOPES

<b>Terça, Quinta e Sábado</b>	ADÃO LOPES, ÁLVARO MAIA, ALTO DA ANTENA, BELA VISTA, BELLO MONTE, CENTRO, ESPLANADA DA SERRA, FLORESTA, ITAUBIRA, LIBERDADE, LOURDES, MONTE VERDE, PEDRA AZUL, PORTÕES, RODOVIA DOS INCONFIDENTES, SANTA EFIGÊNIA, SÃO JOSÉ, SÃO MATEUS, VAN DAMME, VENEZA	CALÇADAS, CENTRO, ESTÂNCIA REAL, FAZENDA BANANAL, GUTIERREZ, MATOZINHOS, MORADA VIVA, MUNU, NOVO ITABIRITO, NOVO SANTA EFIGÊNIA, PRAIA, PRIMAVERA, RECANTO DAS COLINAS, RODOVIA DOS INCONFIDENTES, SANTA RITA, VILA DOS ENGENHEIROS, VILLAGE PARK
-------------------------------	--	---

Fonte: Adaptado de SEMAM, 2023.

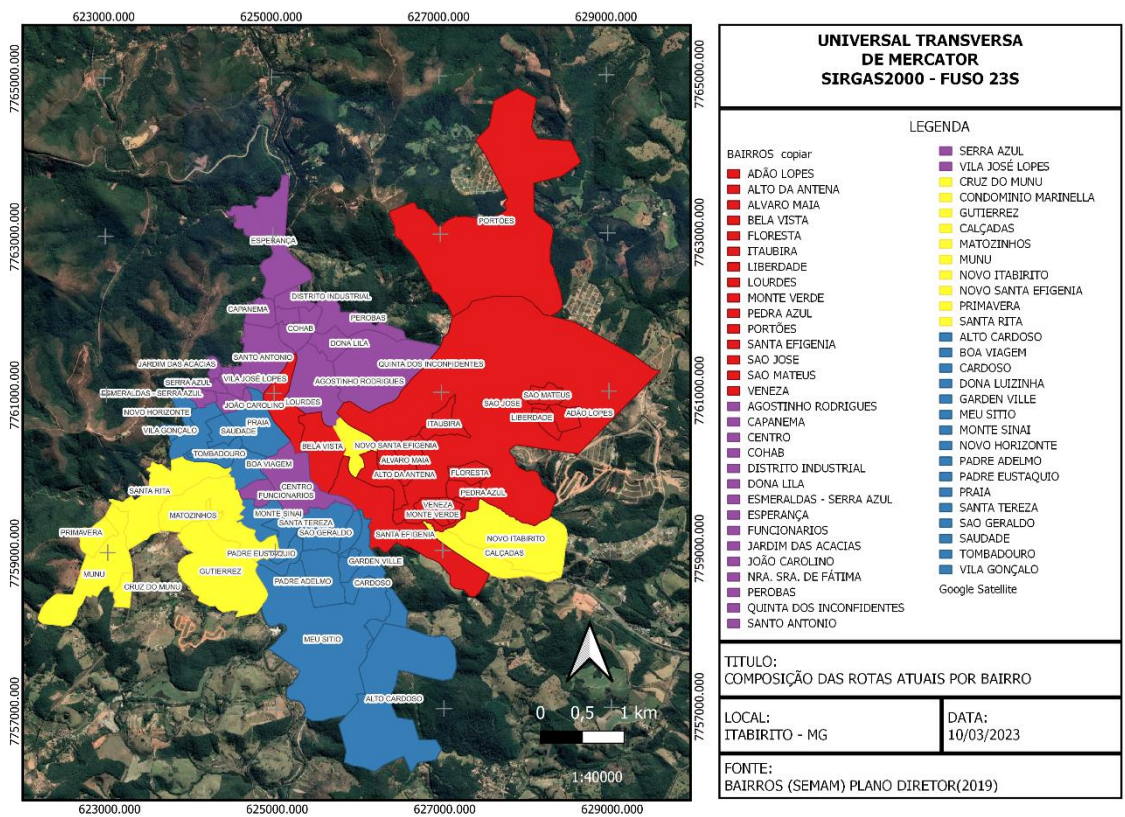
Tabela 5 - Programação Coleta Seletiva de resíduos no município de Itabirito/MG.

<b>Rotas de Coleta Seletiva</b>		
<b>Dia/Horário</b>	<b>Manhã</b>	<b>Tarde</b>
<b>Segunda</b>	Novo Itabirito, Calçadas, Residencial Jardins, UPA, Santa Efigênia, Alto da Antena, Córrego do Baçõ, São Gonçalo do Baçõ, Macedo, Saboeiro, Ribeirão do Eixo	Álvaro Maia, Itaubira, São José, São Mateus, Adão Lopes, Liberdade, Floresta, Pedra Azul, Veneza, Monte Verde, Centro
<b>Terça</b>	Acuruí, Portões, São Gonçalo do Monte, Funcionários, Monte Sinai, Dona Luízinha, Santa Tereza, Alameda Chaparral	Vila José Lopes, Vila João Carolino, Serra Azul, Santo Antônio, Capanema, COHAB, Nossa Sra. de Fátima, Esperança, Centro
<b>Quarta</b>	-----	Santa Rita, Primavera, Cruz do Munu, Centro
<b>Quinta</b>	Agostinho Rodrigues, Dona Lila, Condomínio Garden Ville, Cardoso, Meu Sítio, Condomínio Santa Clara, Padre Adelmo, São Geraldo	Praia, Vila Gonçalo, Tombadouro, Novo Horizonte, Saudade, Centro
<b>Sexta</b>	Marzagão, Padre Eustáquio, Gutierrez, Recanto das Colinas, Matozinhos, Condomínio Marinella	Lourdes, Bela Vista, Novo Santa Efigênia, Comunidade do Bota, Boa Viagem, Centro

Fonte: Adaptado de SEMAM, 2023.

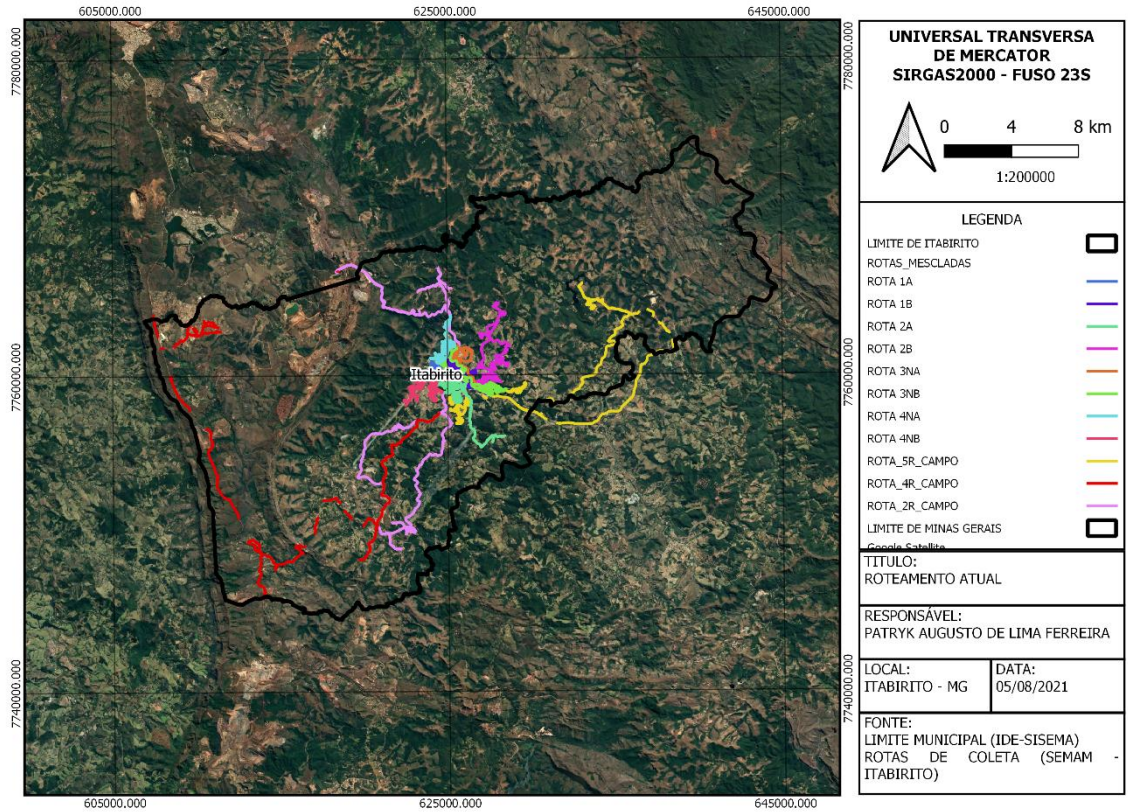
Para cada setor de coleta, é proposto um itinerário a ser cumprido pelo veículo, sendo este definido conforme estabelecido no processo de licitação do serviço. Observou-se que os itinerários seguiam conforme demonstrado (Figura 13). Os itinerários são sempre os mesmos de cada equipe nos seus respectivos dias da semana (Figura 12). O descarte final dos resíduos sólidos urbanos é feito em um local apropriado que está a 3,18km a partir do ponto final estabelecido Acesso 1, conforme (Figura 14).

Figura 12 - Mapa dos setores de coleta atuais no município de Itabirito/MG.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 13 - Mapa dos itinerários atuais mapeados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 14 - Mapa de distância até o ponto de descarte.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

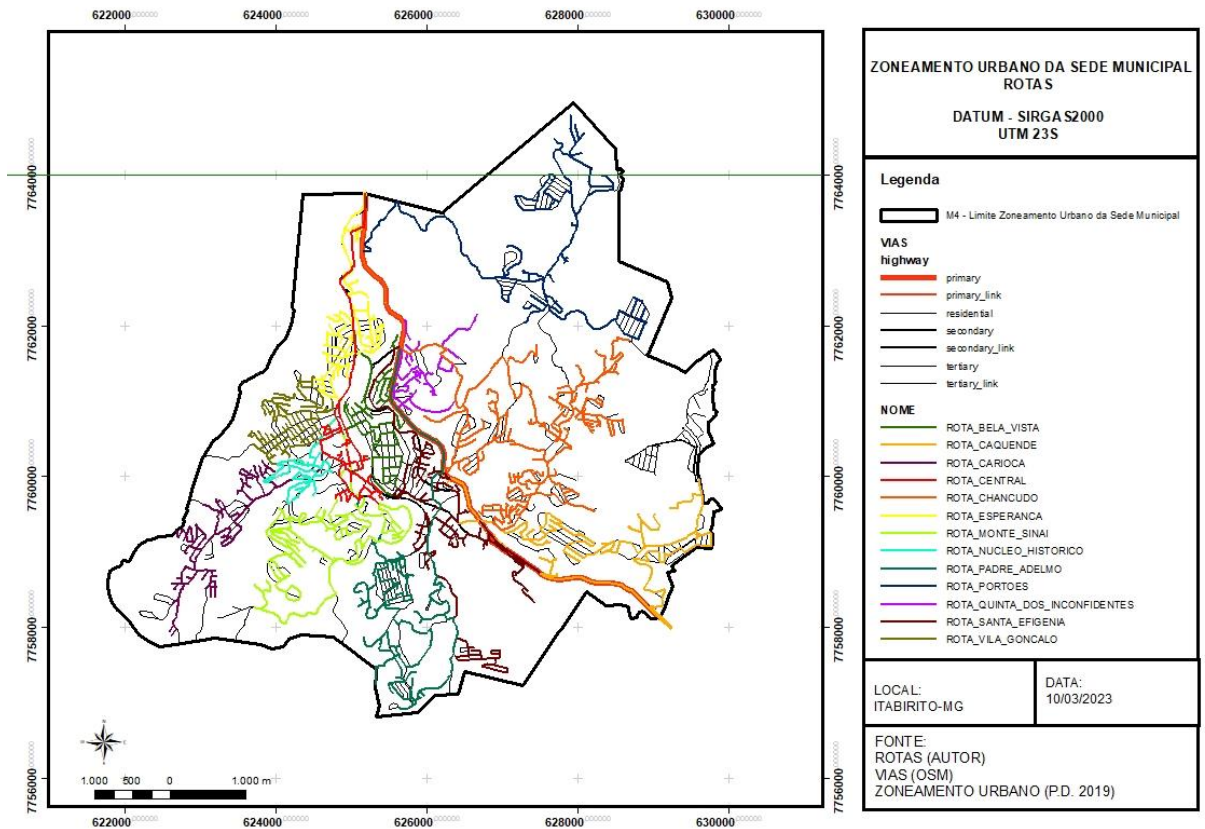
#### 4.2 Uso do SIG para roteirização

Após definir as configurações da ferramenta *Network Analyst* e extensão *VRP*, foi incluído o número de veículos, capacidade máxima de carga e restrições de tempo de serviço. Essas configurações podem ser ajustadas posteriormente de acordo com as necessidades do projeto.

Desta forma as rotas foram geradas dentro dos limites da sede urbana municipal (Figura 3), de acordo com às respectivas unidades de planejamento (Figura 7), conforme (Figuras 15 a 28).

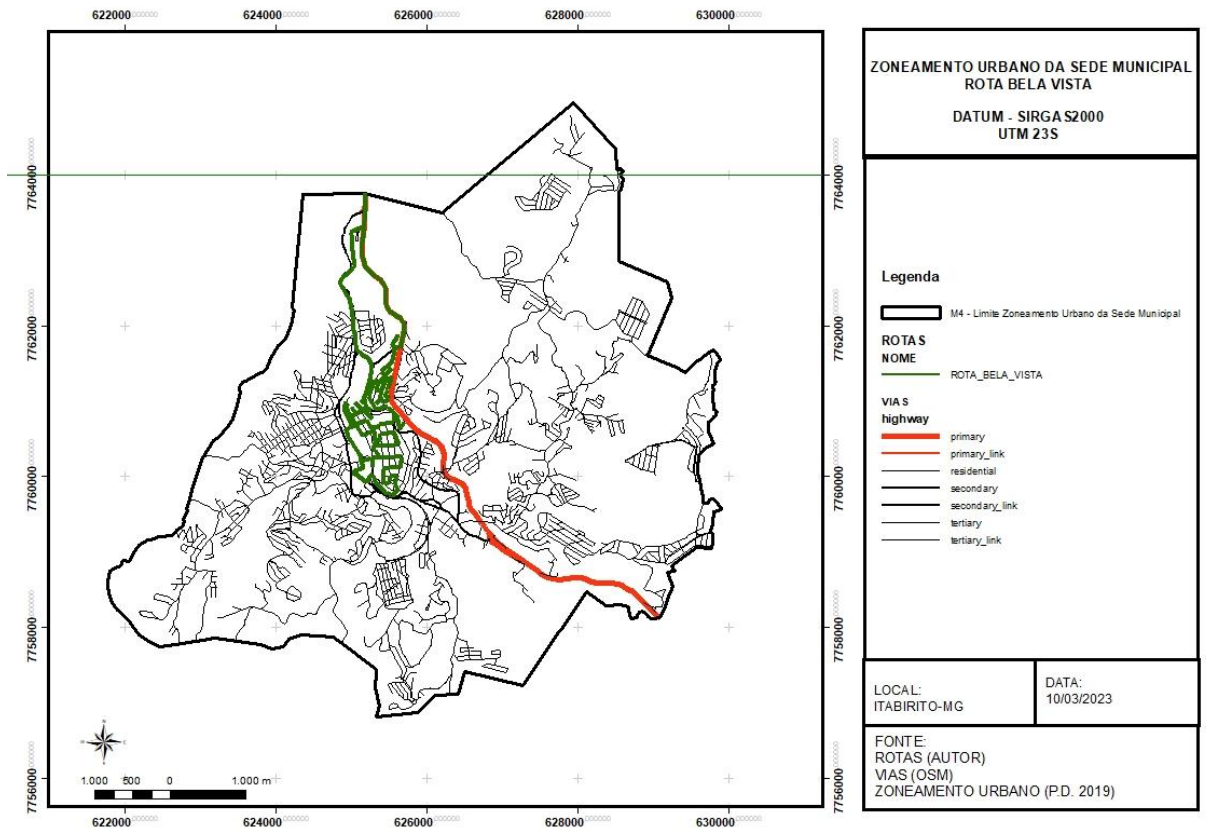


Figura 15 - Mapa de rotas geradas, considerando zoneamento urbano da sede municipal, conforme unidades de planejamento.



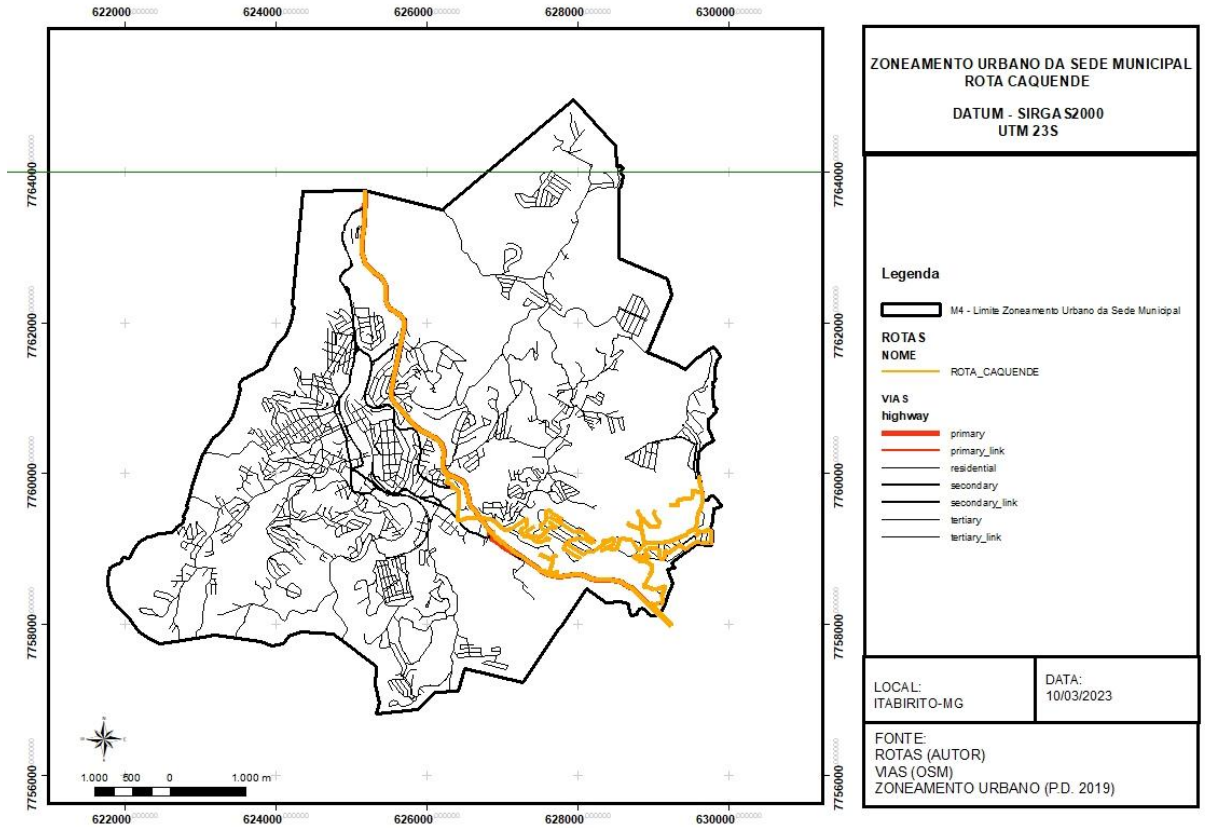
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 16 - Mapa da Rota Bela Vista, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento.



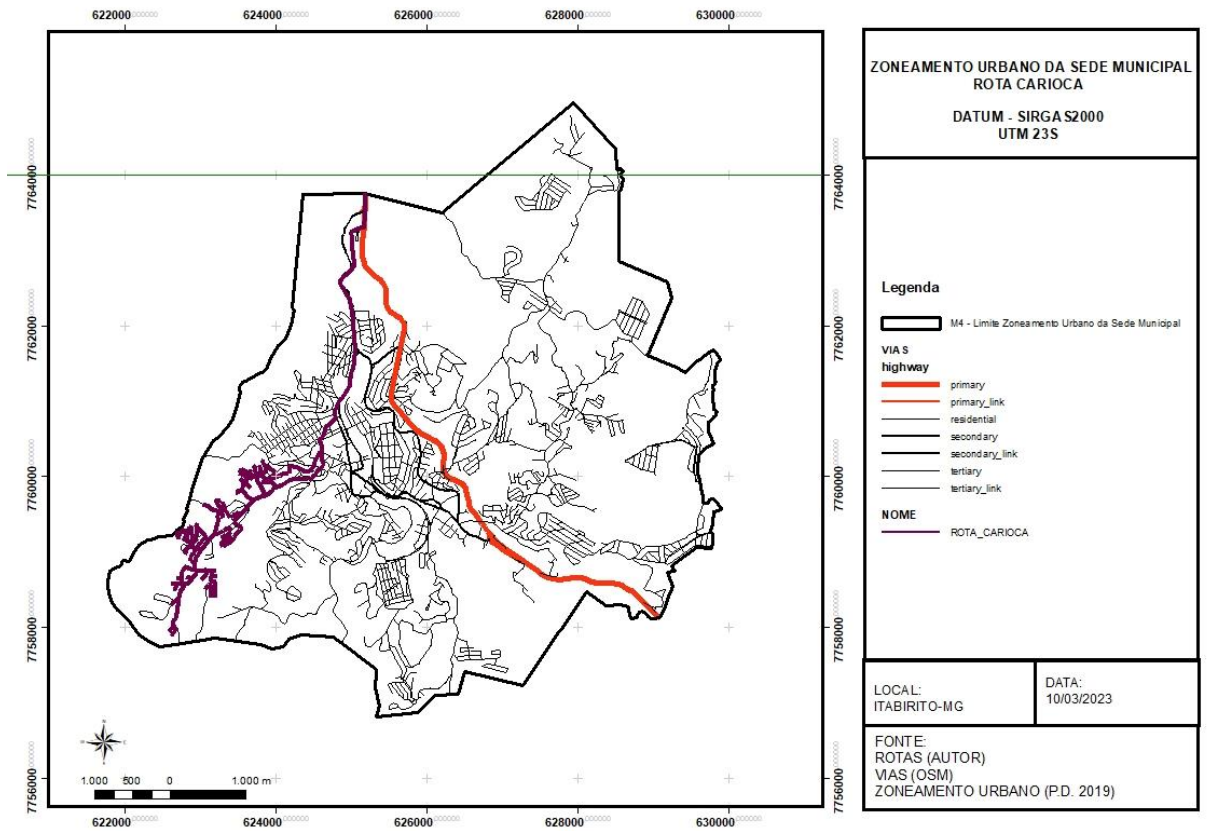
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 17 - Mapa da Rota Caquende, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento.



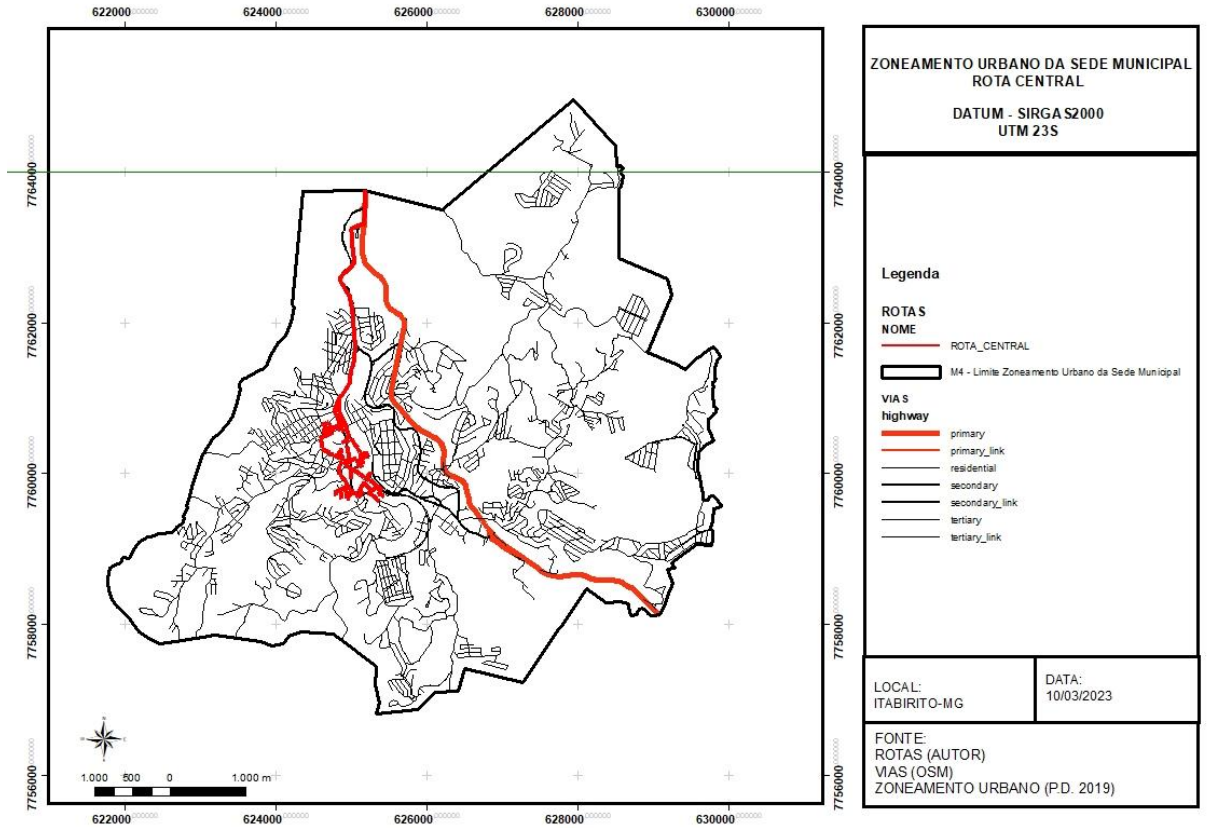
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 18 - Mapa da Rota Carioca, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento.



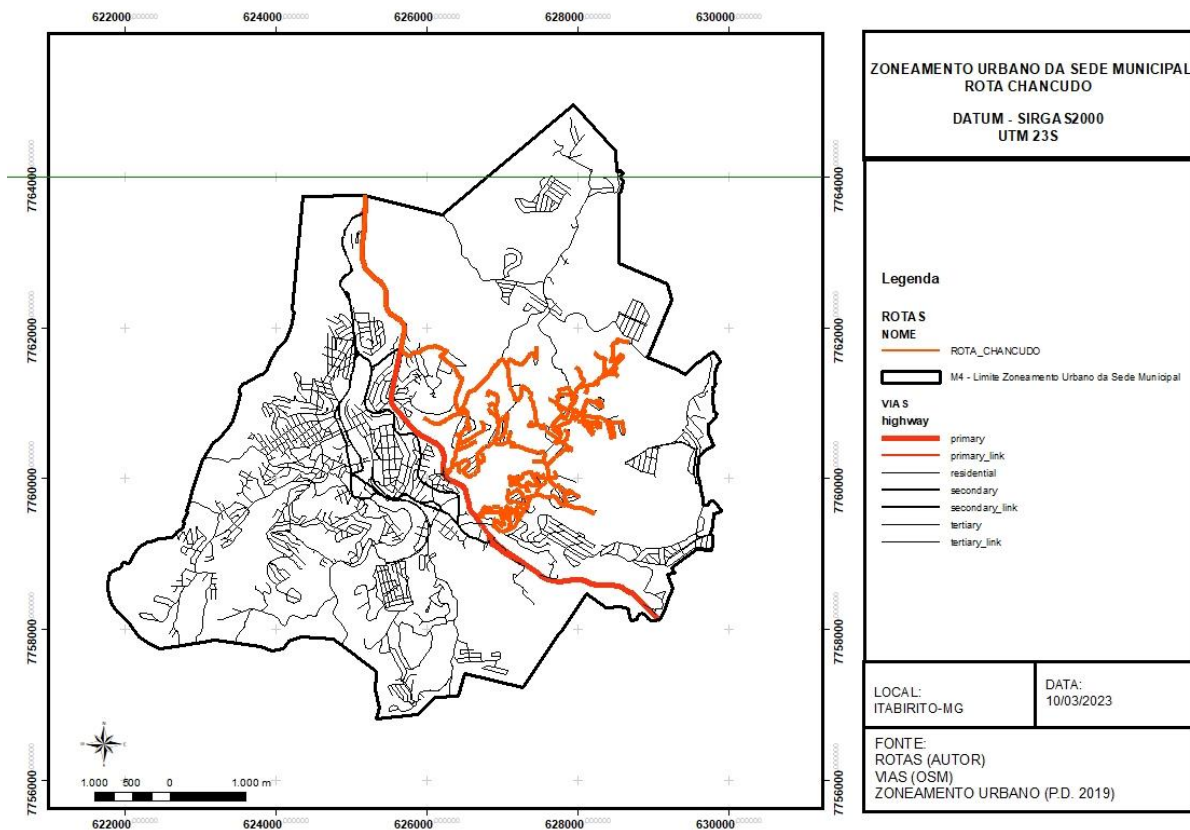
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 19 - Mapa da Rota Central, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento.



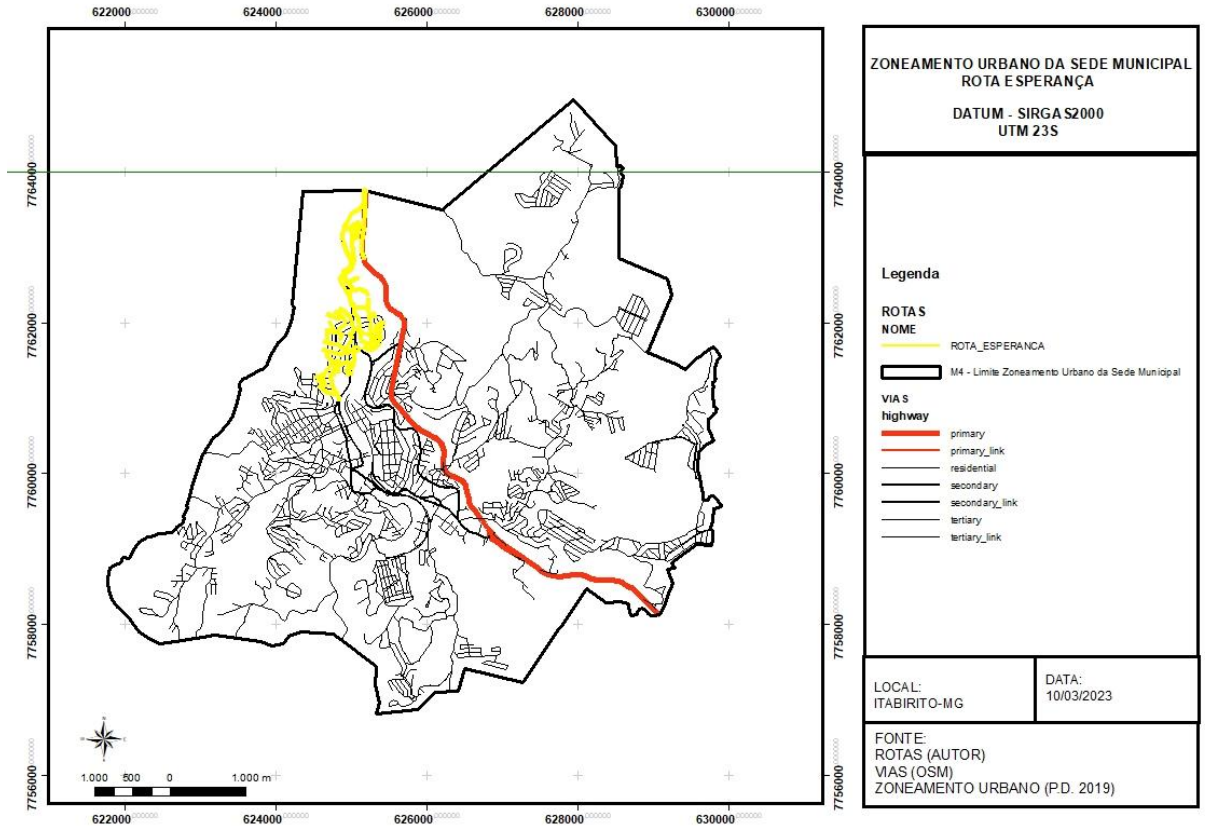
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 20 - Mapa da Rota Chancudo, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento.



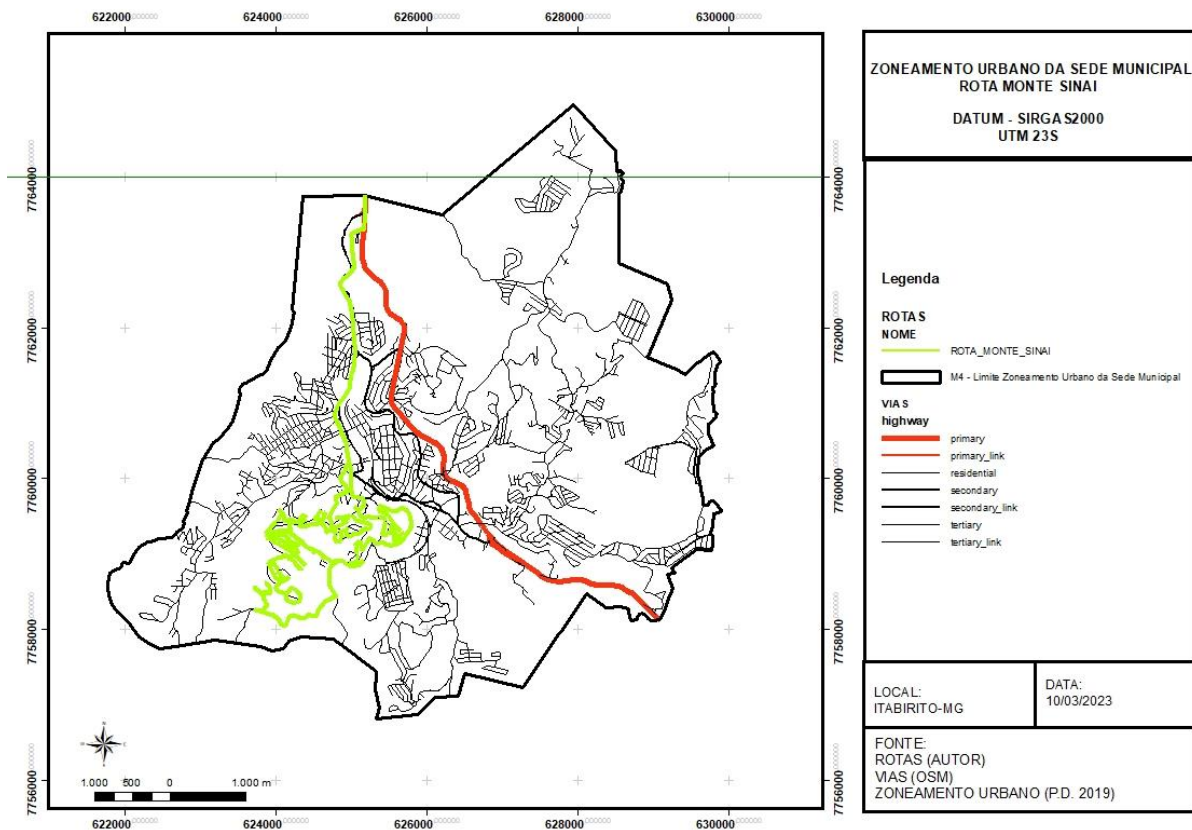
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 21 - Mapa da Rota Esperança, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

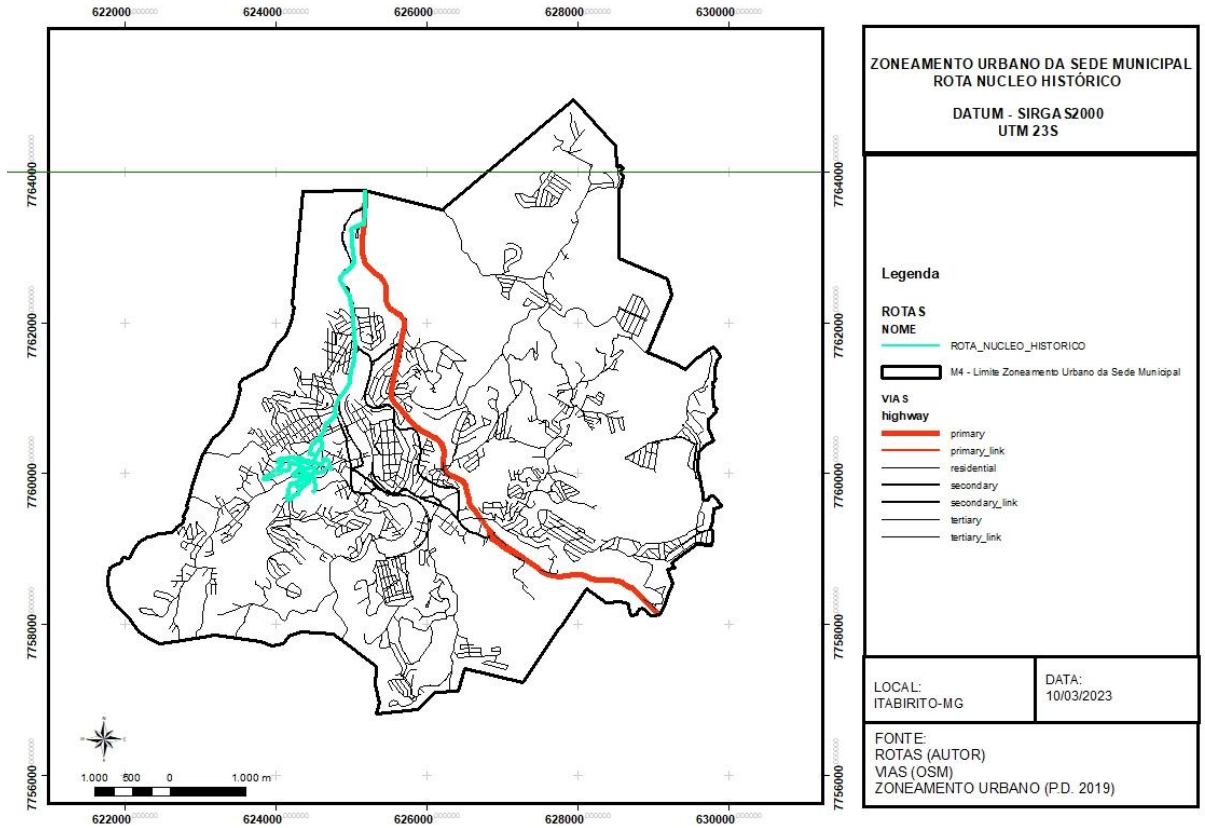
Figura 22 - Mapa da Rota Monte Sinai, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

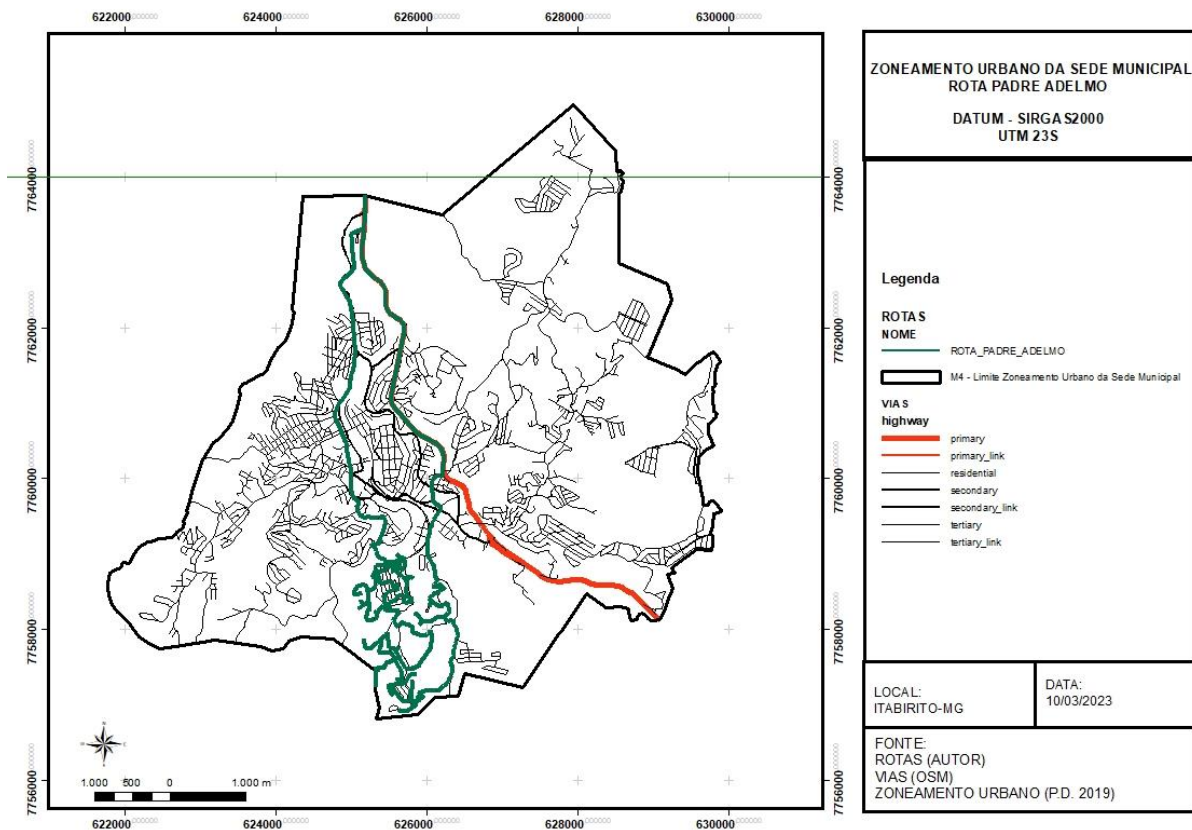


Figura 23 - Mapa da Rota Núcleo Histórico, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento.



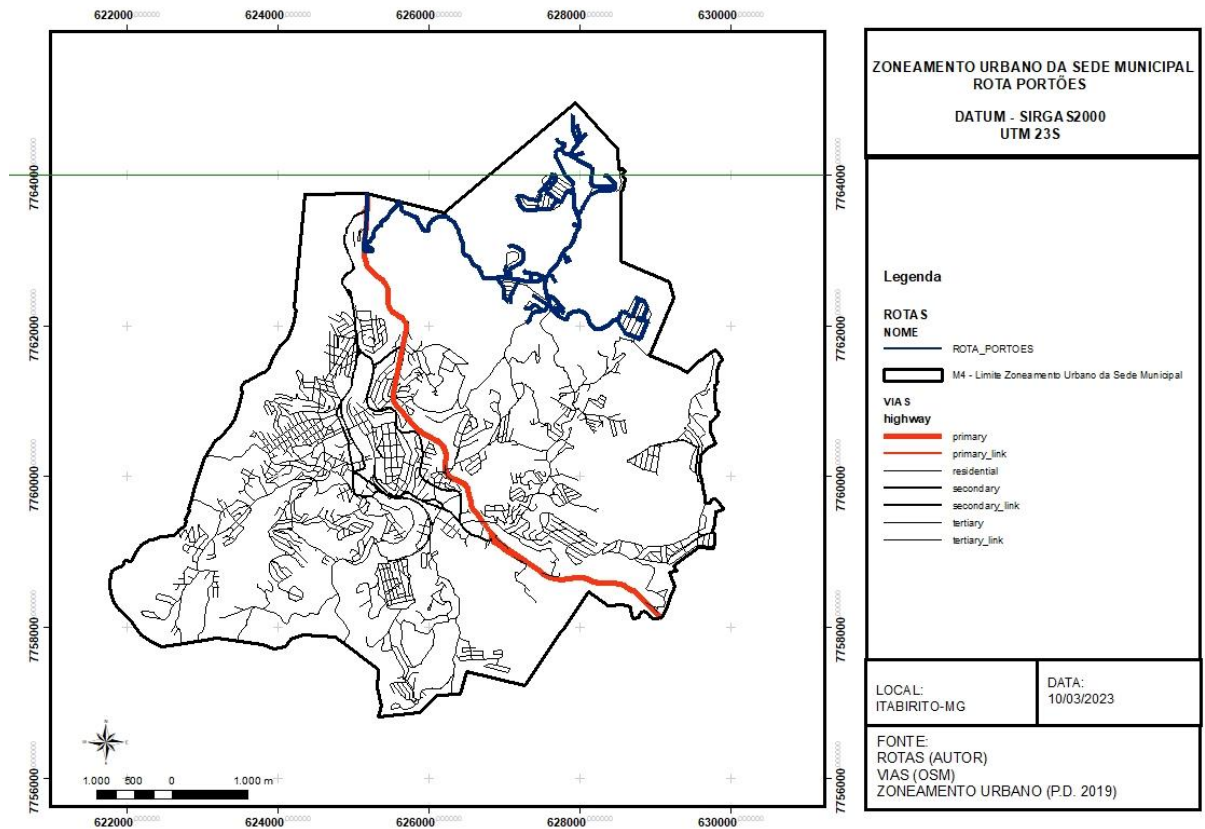
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 24 - Mapa da Rota Padre Adelmo, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento.



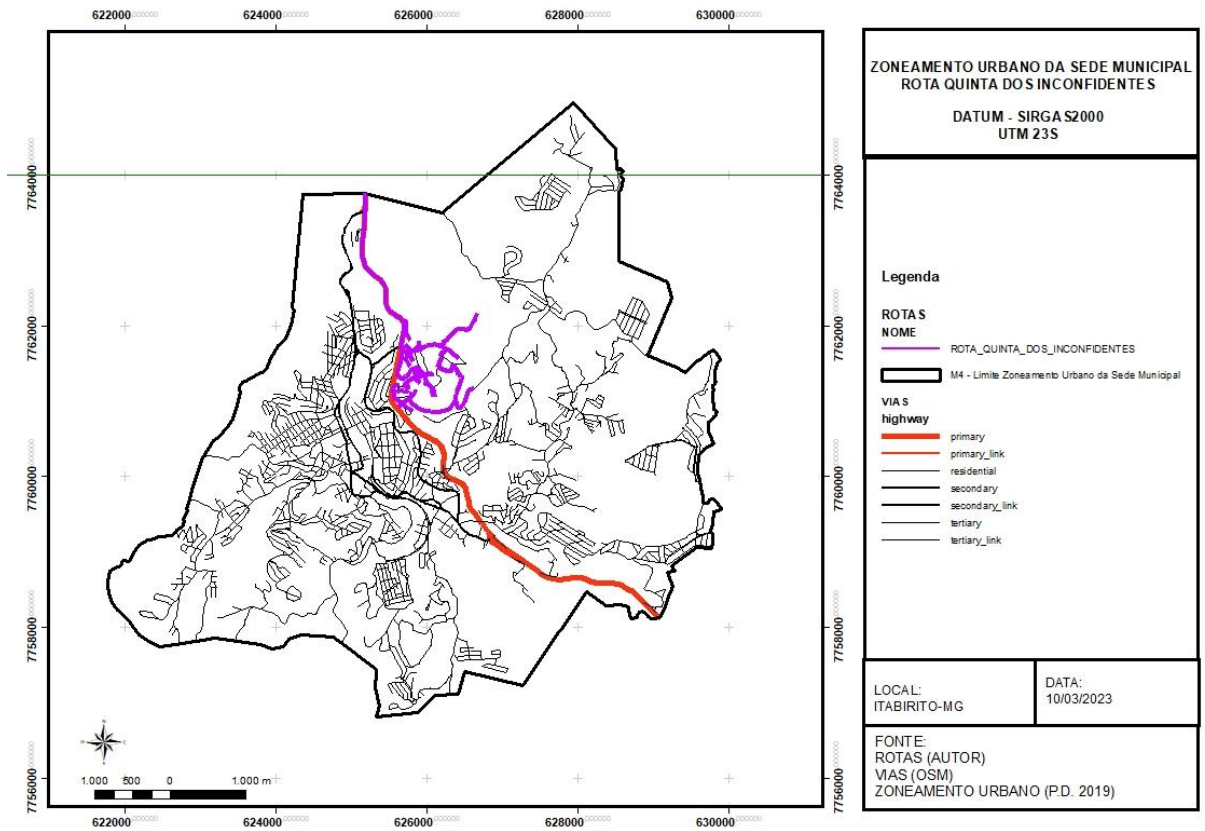
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 25 - Mapa da Rota Portões, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento.



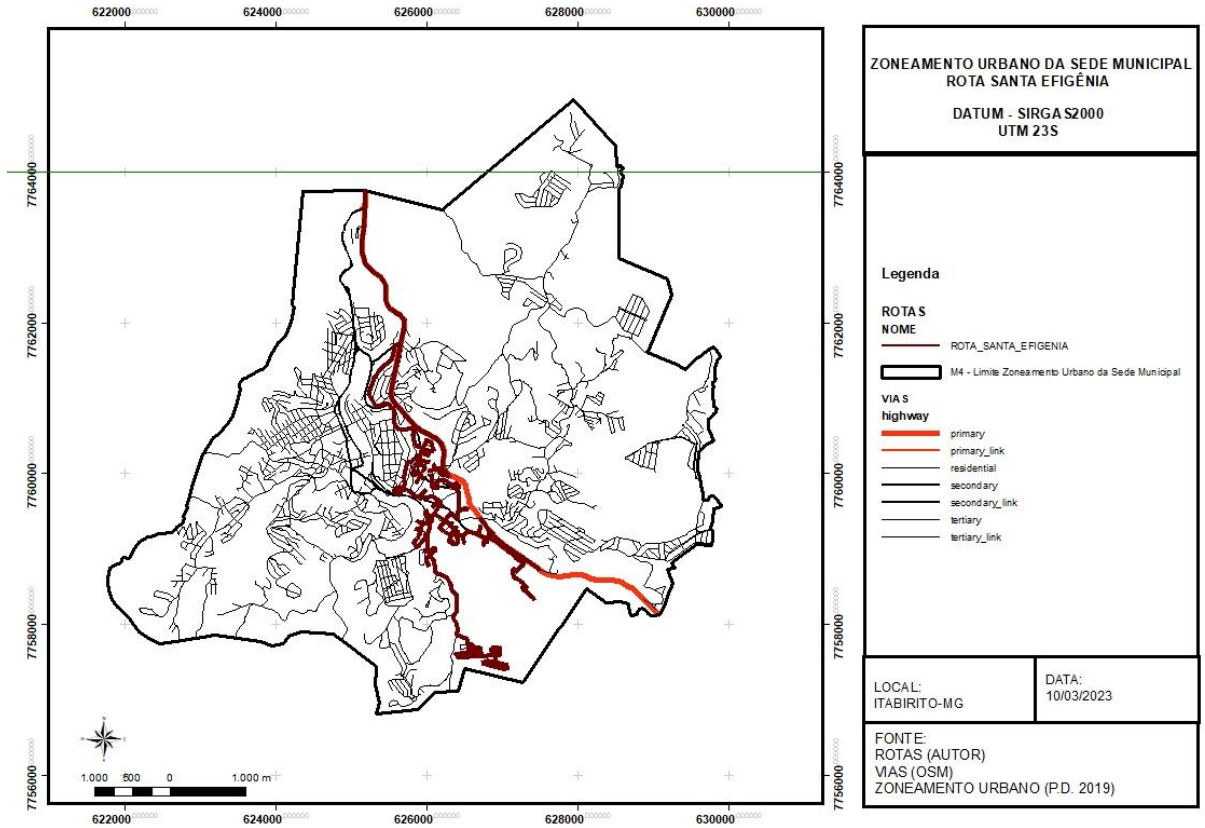
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 26 - Mapa da Rota Quinta dos Inconfidentes, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento.



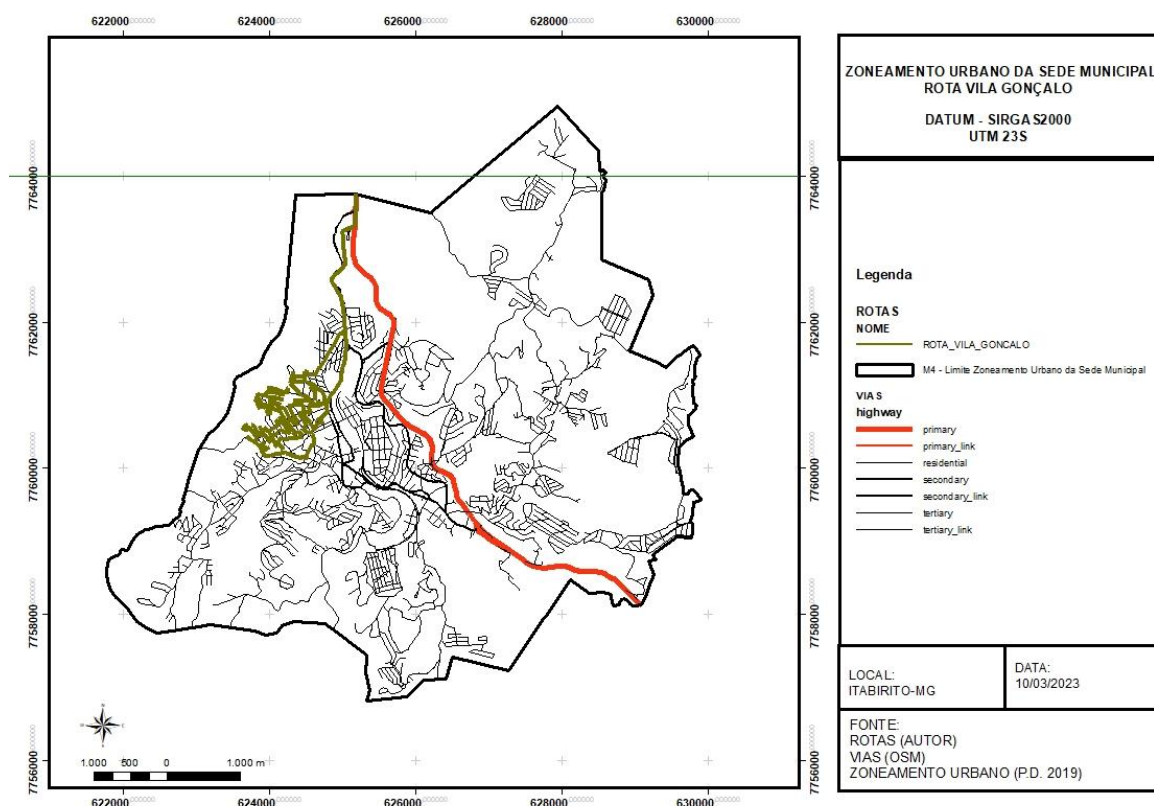
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 27 - Mapa da Rota Santa Efigênia, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 28 - Mapa da Rota Vila Gonçalves, considerando zoneamento urbano da sede municipal e unidade de planejamento.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Assim, também é possível extrair como resultado através da tabela de atributos a distância total percorrida e o tempo necessário para execução de cada rota, conforme (Tabela 6).

Tabela 6 - Tabela de Atributos das Rotas.

NOME DA ROTA	DISTÂNCIA TOTAL	TEMPO(h)
ROTA VILA GONÇALO	21,93268217	01:27
ROTA QUINTA DOS INCONFIDENTES	16,59630295	01:06
ROTA PADRE ADELMO	21,93268217	01:27
ROTA CHANCUDO	49,90140666	03:19
ROTA BELA VISTA	18,65979775	01:14
ROTA CAQUENDE	33,21879594	02:12
ROTA CARIOCA	27,48643783	01:49
ROTA CENTRAL	15,28040091	01:10
ROTA MONTE SINAI	33,70564362	02:14
ROTA NUCLEO HISTORICO	13,99379487	00:55
ROTA PORTÕES	31,11236298	02:04
ROTA SANTA EFIGÊNIA	35,53371698	02:22
ROTA ESPERANÇA	18,21834222	01:12

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Após a execução das rotas, a ferramenta VRP possibilita gerar um arquivo com as direções dos caminhos gerados que podem ser salvos em uma planilha do Excel, XML ou documento de texto, onde é possível saber o itinerário a ser seguido. Reproduzindo informações detalhadas que descrevem o nome da rua, o tipo de manobra, o sentido que deverá seguir, distância e estimativa de tempo, conforme (Tabela 7), pode-se observar um exemplo dos dados adquiridos.

Tabela 7 - Caminho Rota Vila Gonçalves.

<b>ROTA VILA GONCALO</b>
1: Start at Graphic Pick 1
2: Go south on Rodovia dos Inconfidentes toward Rua Adelino Fernandes Drive 450,3 m ~ < 1 min
3: Turn right on Rua Adelino Fernandes Drive 383,9 m ~ < 1 min
4: Continue Drive 277,1 m ~ < 1 min
5: Turn left Drive 274,0 m ~ < 1 min
6: Bear left on Avenida Doutor Queiroz Júnior Drive 1708,5 m ~ 3 min
7: Go southwest on Avenida Doutor Queiroz Júnior Drive 47,5 m ~ < 1 min
8: Go south on Avenida Doutor Queiroz Júnior Drive 78,7 m ~ < 1 min

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Conforme Tabela 5 – Verificação da Velocidade de Coleta, constante no Anexo XIII – Planilha de Composição de Custos Unitários do Processo Licitatório nº 237/2020 da Concorrência Pública nº: 006/2020, que trata da aquisição dos serviços de coleta para o município, a distância percorrida diária pelos veículos coletores é de 204,47 km/dia.

Para realizar a análise foi necessário manter o padrão das rotas conforme itinerários definidos atualmente. Desta forma as regiões de coleta foram agrupadas em setores de acordo com a proximidade entre cada uma, conforme (Tabelas 8 a 11),

optou-se por manter a rota central em todos os setores visto as especificidades da região.

Tabela 8 - Setor de coleta 1.

SETOR 1	
Nome	Distância Total (km)
ROTA ESPERANÇA	18,21834222
ROTA PORTÕES	31,11236298
ROTA BELA VISTA	18,65979775
ROTA CENTRAL	15,28040091

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Tabela 9 - Setor de coleta 2.

SETOR 2	
Nome	Distância Total (km)
ROTA VILA GONÇALO	21,93268217
ROTA NUCLEO HISTORICO	13,99379487
ROTA CARIOCA	27,48643783
ROTA CENTRAL	15,28040091

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Tabela 10 - Setor de coleta 3.

SETOR 3	
Nome	Distância Total (km)
ROTA CHANCUDO	49,90140666
ROTA CAQUENDE	33,21879594
ROTA QUINTA DOS INCONFIDENTES	16,59630295
ROTA CENTRAL	15,28040091

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Tabela 11 - Setor de coleta 4.

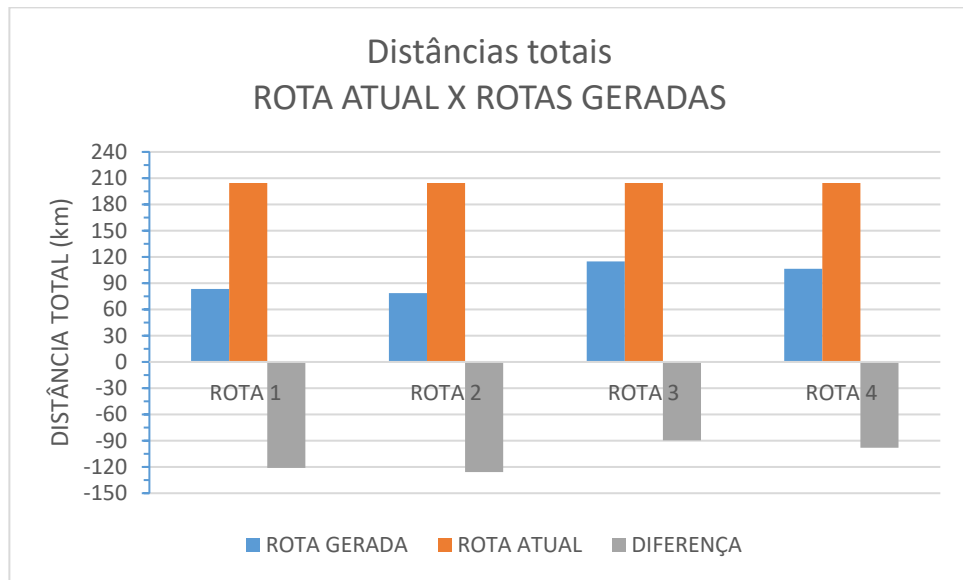
SETOR 4	
Nome	Distância Total (km)
ROTA SANTA EFIGÊNIA	35,53371698
ROTA PADRE ADELMO	21,93268217
ROTA MONTE SINAI	33,70564362
ROTA CENTRAL	15,28040091

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.



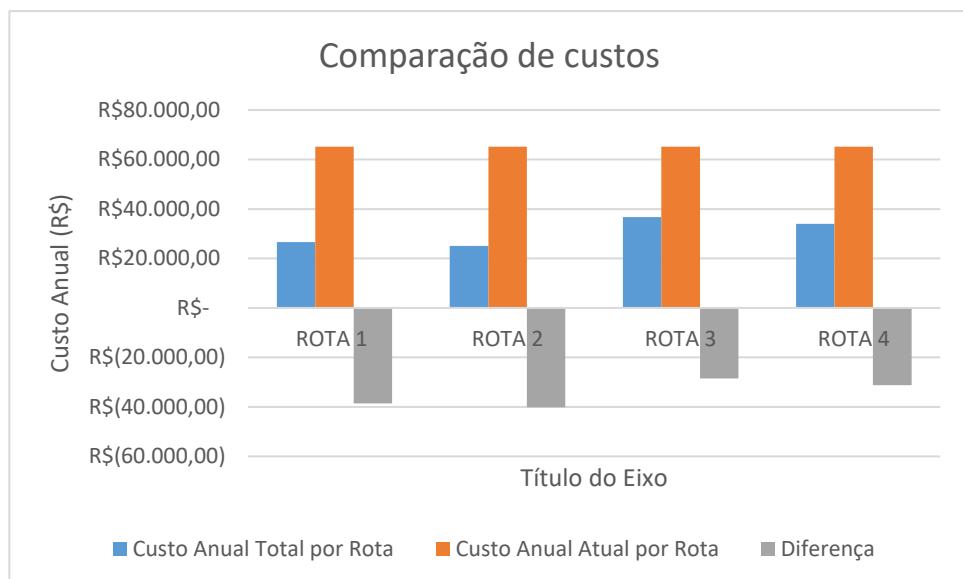
A Figura 29 apresenta os resultados obtidos através da comparação entre as distâncias analisadas. É possível observar que a distância total diária das rotas atuais é superior a distância das rotas geradas.

Figura 29 - Gráfico de comparação das distâncias.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 30 - Gráfico de comparação de custos.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Foi observado que houve a redução direta da quilometragem percorrida nas rotas de resíduos conforme (Figura 29), assim pôde-se analisar o custo diretamente associado que é o consumo de combustível, conforme (Figura 30).

Atualmente o desempenho do veículo de coleta é ineficiente, percorrendo grandes distâncias, o que resulta em um aumento considerável no tempo total de execução do serviço e custos.

Para o município de Itabirito houve uma redução média da distância percorrida de 46%, comparando com os municípios de Ilha Solteira análise de Brasileiro e Lacerda (2008) e Irati Júnior e Arante (2019) observou-se que a redução está próxima aos resultados obtidos. Desta forma, conforme dados obtidos, verificou-se que haveria redução de aproximadamente R\$139.000,00 anuais, conforme TABELA 12, somente em combustível, não levando em consideração os custos de manutenção, custos com mão de obra, custos de pneus, custos com licenciamento, seguro e IPVA, custos de operação e depreciação.

Tabela 12 - Custo de Combustível.

	ROTAS			
	ROTA 1	ROTA 2	ROTA 3	ROTA 4
<b>Distância Total (km)</b>	83,27090386	78,69331578	114,9969065	106,4524437
<b>Consumo médio (km/L)</b>	5,8	5,8	5,8	5,8
<b>Preço Diesel (reais)*</b>	R\$5,93	R\$5,93	R\$5,93	R\$5,93
<b>Custo Anual Total por Rota</b>	R\$26.562,84	R\$25.102,63	R\$36.683,22	R\$33.957,60
<b>Custo Anual Atual por Rota</b>	R\$65.224,52	R\$ 65.224,52	R\$65.224,52	R\$65.224,52
<b>Diferença</b>	-R\$ 38.661,68	-R\$40.121,89	-R\$ 28.541,30	-R\$31.266,92

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023; \*(PETROBRAS, 2023).

Estes resultados permitiram uma avaliação do gasto excedente de combustível, considerando a distância total, consumo médio do caminhão ( $C_c$ ) e o custo médio do diesel ( $C_d$ ). Portanto, sendo o valor médio do óleo diesel ( $V_d$ ) de R\$ 5,93 (PETROBRAS, 2023), o consumo do caminhão de 5,8 km/L. Considerando 312 dias ( $T$ ) de coleta por ano, tem-se um custo anual excedente de R\$ 138.591,79.

$$C = \left( \frac{\text{Distância}}{C_c} \right) \times T \times V_d$$

Com o objetivo de avaliar a eficiência do uso de SIG no roteamento de veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares, foram realizadas simulações. Ao comparar as distâncias entre as rotas atuais empíricas os resultados demonstraram que o SIG

é uma ferramenta aplicável para este tipo de estudo, uma vez que apresentou reduções significativas tanto em termos de distância percorrida quanto no tempo total de percurso. A partir dos resultados obtidos, percebe-se que uma aplicação prática do itinerário gerado pelo software indica uma melhor alternativa para o problema da geração de rotas. Os resultados mostram uma diminuição significativa nas operações em termos de distância, com média de aproximadamente 46%, consequentemente reduzindo o tempo de coleta, logo há viabilidade em implantação da metodologia analisada.

Por outro lado, a utilização do SIG deve ser realizada de forma consciente, visto que, os dados de entrada para o modelo, em particular os dados que representam o sistema viário e suas restrições de circulação de veículos (mãos de direção, conversões permitidas e proibidas, etc) deve ser tratado da maneira adequada, tratando-se de dados abertos onde as informações contidas podem não estar de acordo com a realidade, além de se tratar de um dado dinâmico que pode ser alterado pelo órgão público a qualquer momento conforme suas necessidades, ainda esta etapa demanda um trabalho braçal e mental exaustivo, já que há a necessidade de conferência de toda a rede e dados, havendo a necessidade de investimento em pesquisa para operacionalização deste fator.

## 5 CONCLUSÃO

O uso do *Network Analyst* para resolver problemas de roteamento de veículos é benéfico em várias áreas, incluindo logística, transporte, distribuição e planejamento urbano. A ferramenta permite aos usuários otimizar rotas de veículos para reduzir custos, aumentar a eficiência e melhorar o atendimento ao cliente.

A aplicação de SIG para planejamento de rotas de coleta de resíduos sólidos permite otimizar o uso de recursos, reduzir custos, minimizar o tempo de coleta e garantir a cobertura total das áreas de coleta, contribuindo para uma coleta mais eficiente e sustentável, reduzindo a pegada de carbono e melhorando a qualidade de vida da população local. Além disso, o uso para otimização de rotas de coleta de resíduos sólidos contribui para uma melhor comunicação entre os órgãos públicos responsáveis pela gestão de resíduos e a população local, permitindo que as informações sejam compartilhadas de forma mais transparente e acessível.

As reduções nas distâncias totais percorridas pelos veículos de coleta mostradas neste trabalho chegaram a 46% do praticado empiricamente, o que prevê a importância do uso do Sistema de Informações Geográficas – SIG - como ferramenta de planejamento do transporte. Essa economia é muito mais representativa quando a análise é feita ao longo de um ano, sendo que neste trabalho alcançou a redução de aproximadamente 30.000 km. Com os dados obtidos, espera-se que o uso dessa ferramenta extrapole as pesquisas acadêmicas e passe a ser aplicada como suporte ao planejamento prático das rotas nas cidades.

Pode-se perceber, ainda, que a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para resolver problemas de rotas de resíduos sólidos é uma solução eficaz e valiosa. Este estudo tem o potencial de contribuir significativamente para a resolução do desafio de roteirização com múltiplos pontos de parada, pode melhorar significativamente a eficiência e o desempenho das operações de transporte, além de fornecer *insights* valiosos para pesquisas futuras no setor.

Portanto, recomenda-se para trabalhos futuros, testes de outros *softwares* SIG para fins comparativos, o uso de SIG para roteirização de outros tipos de coleta no município, assim como, outros critérios a serem considerados, tais como depreciação da frota de veículos, outros custos relacionados a coleta, emissão de gases, entre outros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12980: Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos**. CE-01:603.05 - Comissão de Estudo de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro. 1993. ABNT. 6p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.463: Coleta de Resíduos Sólidos**. 3p. 1995.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004, ABNT. 71p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17001-1: Gerenciamento de resíduos - Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro. 2023. 31p.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos no Brasil – 2020**. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://www.viex-americas.com/wp-content/uploads/2021/06/Panorama-2020-V5-unicas.pdf>> Acesso em: 9 jul. 2021.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos no Brasil – 2022**. São Paulo, 2022. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/>> Acesso em: 21 ago. 2021.

ADESITA. **Perfil Socioeconômico Itabirito 2018**. Itabirito, 2018. Disponível em: <[http://www.adesita.org.br/uploads/adesita\\_2014/arquivos/itabirito-4.pdf](http://www.adesita.org.br/uploads/adesita_2014/arquivos/itabirito-4.pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2021.

AGUIAR, A. O., PHILIPPI Jr, A. **Resíduos Sólidos: Características e Gerenciamento**. In: **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamento para o Desenvolvimento Sustentável**. Barueri – SP. 267-321p. 2004.

ArcGIS. **Software**. Disponível em: <<http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>>. Acesso em: 01 de jan. de 2023.

ATLAS BRASIL. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. Brasília: Atlas Brasil, 2013. Disponível em: <<http://atlasbrasil.ipea.gov.br/2013/>>. Acesso em: 31 jul. 2021.

AYALA FILHO, G. G. M. **Uso de plataformas livres de sistemas de informações geográficas aplicados em estudos de transportes**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Transporte e Logística). Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2016.

BATTISTELLA, N. **Avaliação de Modelo Computacional para Planejamento e Otimização de Rotas de Coleta para Catadores de Materiais Recicláveis**. 2014. 145 f Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

BARROS. R. M. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência. Minas Gerais: Acta, 2012.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade e POVINELLI, Jurandyr. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC/USP. Acesso em: 28 out. 2022

BRASIL. **Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico. 1988.

BRASIL. **Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Brasília: Senado Federal. 2010.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico**. Brasília: Senado Federal. 2020.

BRASILEIRO, L.A. **Análise do Roteamento de Veículos na Coleta de Resíduos Domésticos, Comerciais e de Serviços de Saúde**. Tese de Livre Docência, Universidade Estadual Paulista, 94 p. Ilha Solteira. 2004.

BRASILEIRO, L. A.; LACERDA, M. G. **Análise do uso de SIG no roteamento dos veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares**. Eng. Sanit. Ambient. 356, v.13, n. 4, p. 356-360, 2008.

BRINGHENTI, J. **Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos: aspectos operacionais e da participação da população**. 2004. 316 f. Tese (Doutorado em

Saúde Ambiental) – Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2004.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 344p.

CEMPRE. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 4. ed. São Paulo: CEMPRE, 2018. 316 p. Disponível em: [http://cempre.org.br/upload/Lixo\\_Municipal\\_2018.pdf](http://cempre.org.br/upload/Lixo_Municipal_2018.pdf). Acesso em: 23 mar. 2023.

CHERFEM, C. O. **A coleta seletiva e as contradições para a inclusão de catadoras e catadores de materiais recicláveis: construção de indicadores sociais. Mercado de trabalho**. 2015. Disponível em: <[http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5010/10/bmt\\_59\\_economia-solidaria-1.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5010/10/bmt_59_economia-solidaria-1.pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2023.

CHURCH, R. L.; FLEURY, P. **Integrating normative location models into GIS: problems and prospects with the p-median model**. In: LONGLEY, P.; BATTY, M. (Eds). *Spatial Analysis: modeling in a GIS environment*. Cambridge: Geo Information International, 2002. p.167-183.

CONSANE – CONSÓRCIO REGIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO. **Relatório de visita técnica às associações de reciclagem e realização de composição gravimétrica dos resíduos sólidos do município de Itabirito – MG**. 28 f. Lavras. 2022.

COSTA, N. P. **Gerenciamento de resíduos sólidos nas pequenas médias empresas de Itabirito-MG**. Estudo de caso: Produção mais limpa em empresa do setor têxtil. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

COSTA, N. R.; NASCIMENTO, V. F.; OMETTO, J. **Roteirização de Veículo de Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos Utilizando SIG**. 19º Congresso Nacional de Iniciação Científica - CONIC-SEMESPAt: São Paulo, SP, 2019.

FERREIRA, M. C. **Sistemas de informação geográfica aplicados à gestão de resíduos sólidos urbanos e industriais: Caso de estudo do Concelho de Ferreira do Zêzere.** Mestrado (Sistema de Informações Geográficas). Instituto Politécnico de Tomar, Tomar, 2019.

FOSTER, A.; ROBERTO, S. S.; IGARI, A. T. **Economia circular e resíduos sólidos: uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica.** Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. São Paulo, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estatística. 2019. Disponível em: <[https://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_estatisticas.htm](https://downloads.ibge.gov.br/downloads_estatisticas.htm)>. Acesso: 10 ago. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.br/sidra/>>. Acesso em: 25 jul. 2021.

ITABIRITO. **Lei Nº 3323, de 08 de julho de 2019. Institui o Plano Diretor do Município de Itabirito/MG e dá outras providências.** Itabirito: Câmara Municipal. 2019.

JÚNIOR, C. R. F.; ARANTES, D. F. **Roteirização através do SIG para coleta de lixo doméstico: um estudo de caso da cidade de Silvânia – GO.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Transportes). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia, 2019.

JUNIOR, A. P.; FILHO, P. C. O. Análise de rotas de coleta de resíduos sólidos domiciliares com uso de geoprocessamento. *Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambiental*, 8, 131-144, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.7213/ciencia-animal.v8i2.10808>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

KLEIN, F. B.; GONÇALVES-DIAS, S. L. F.; JAYO, M. **Gestão de resíduos sólidos urbanos nos municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: uma análise sobre o uso de TIC no acesso à informação governamental.** *Rev. Bras. Gest. Urbana* 10 (1), 2018.

LIMA, J. D. **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil.** João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental Seção Paraíba. p. 267, 2000.



MAXIMINIANO, G. A. **Bacia do Rio Pato Branco: ensaio cartográfico para análise da fragilidade do meio físico com uso de geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado). São Paulo: USP, 1996.

MEDEIROS, A. M. L. **Cinco razões para começar a usar o QGIS**. Brasil FOSSGIS. n. 6 p. 44-47, 2012.

MERSONI, C.; REICHERT, A. **Comparação de cenários de tratamento de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica da Avaliação do Ciclo de Vida: o caso do município de Garibaldi, RS**. Eng. Sanit. Ambient. 22 (05), 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Legislação brasileira prevê fim dos lixões**. 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=ascom.noticiaMMA&idEstrutura=8&codigo=6016>>. Acesso em: 23 mar. 2023.

MOTTA, R. S. **Economia ambiental**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.

OLIVEIRA, T. B.; JUNIOR, A.C.G. **Planejamento municipal na gestão dos resíduos sólidos urbanos e na organização da coleta seletiva**. Eng Sanit Ambient, v.21, n.1, p. 55-64, 2016.

PEREIRA, S. S.; CURTI, R. C.; CURTI, W. F. **Uso de indicadores na gestão dos resíduos sólidos urbanos: parte II - uma proposta metodológica de construção e análise para municípios e regiões: aplicação do modelo**. Eng. Sanit. Ambient. 23 (03), 2018.

QGIS.org, 2021. **QGIS Geographic Information System**. QGIS Association. Disponível em: <<http://www.qgis.org>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

RODRIGUEZ, L. C.; SOBRINHO, V. G. **Mercados de Poluição: uma abordagem com a utilização de metas de geração de resíduos sólidos urbanos**. Conexão Academia – Revista Científica sobre Resíduos Sólidos. São Paulo, ano. II v. 4, p. 21-28, julho 2013. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/arquivosrevista\\_conexa\\_academia4.pdf](http://www.abrelpe.org.br/arquivosrevista_conexa_academia4.pdf)>. Acesso em: 23 mar. 2023.

SILLERO, N; TARROSO, P. **Free GIS for herpetologists: free data sources on Internet and comparison analysis of proprietary and free/open-source**

**software.** Acta Herpetologica, p63-85, 2010. Centro de Investigação em Ciências Geo-Espaciais (CICGE) da Universidade do Porto. R. Porto, Portugal. 2010.

SILVA, A. N. R.; RAMOS, A. R.; SOUZA, L. C. S.; RODRIGUES, D. S. MENDES, J. F. G. **SIG: uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e de transportes.** São Carlos, SP: Ed. dos Autores, 2004.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Diagnóstico anual de resíduos sólidos. 2020.** Disponível em: <<http://antigo.snis.gov.br/diagnosticos/>>. Acesso em 06 de setembro de 2022.