

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE GOIÁS – CAMPUS GOIÂNIA
DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS III
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA DE
TRANSPORTES

**ROTEIRIZAÇÃO ATRAVÉS DO SIG PARA
COLETA DE LIXO DOMÉSTICO: UM ESTUDO
DE CASO DA CIDADE DE SILVÂNIA - GO**

**CARLOS ROBERTO FRANÇA JÚNIOR
DANIELLA FERREIRA ARANTES**

GOIÂNIA
NOVEMBRO/2019

CARLOS ROBERTO FRANÇA JÚNIOR
DANIELLA FERREIRA ARANTES

ROTEIRIZAÇÃO ATRAVÉS DO SIG PARA COLETA DE LIXO DOMÉSTICO: ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE SILVÂNIA - GO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia de Transportes do Departamento de Áreas Acadêmicas III Bacharelado do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Goiânia, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Transportes.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Luciana Araújo Azevedo

GOIÂNIA
NOVEMBRO/2019

F8441r França Júnior, Carlos Roberto.

Roteirização através do SIG para coleta de lixo doméstico: estudo de caso na cidade de Silvânia – GO / Carlos Roberto França Júnior; Daniella Ferreira Arantes. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia, 2019.

86 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Araújo Azevedo

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia de Transportes, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

Inclui anexo.

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Roteirização – coleta de lixo. 3. Sistema de Informações Geográficas. I. Arantes, Daniella Ferreira. II. Azevedo, Luciana Araújo (orientadora). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia. IV. Título.

CDD 363.7285

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Karol Almeida da Silva Abreu CRB1/ 2.740

Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Carlos Roberto França Junior

Matrícula: 20151011180137 / 20151011180242

Título do Trabalho:

Retirização através do SIG p/ coleta de lixo doméstico: estudo de caso na cidade de Silvânia - GO

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG;
- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____;
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG.

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Goiânia, 11 / 02 / 2019
Local Data

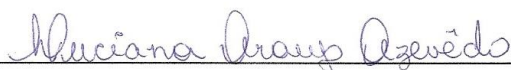
CARLOS ROBERTO FRANÇA JÚNIOR
DANIELLA FERREIRA ARANTES

ROTEIRIZAÇÃO ATRAVÉS DO SIG PARA COLETA DE LIXO DOMÉSTICO: ESTUDO DE
CASO DA CIDADE DE SILVÂNIA - GO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação
do Curso de Engenharia de Transportes do Departamento de
Áreas Acadêmicas III Bacharelado do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Goiânia,
como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Transportes.

Aprovado em: 20/11/2019.

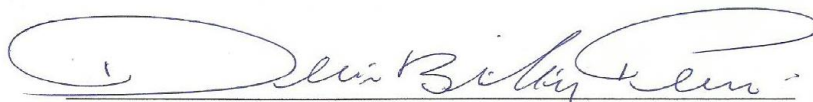
Banca Examinadora:



Professora: Dra. Luciana Araujo Azevedo (Orientadora – IFG)



Prof. Dr. Ricardo Freire Gonçalves – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás (orientador)



Prof. Dr. Denis Biolkino de Souza Pereira – Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás

*A suficiência dos nossos méritos está em saber
que nossos méritos não são suficientes.
(Agostinho)*

*Se algum de vocês tem falta de sabedoria,
peça-a a Deus, que a todos dá livremente, de
boa vontade; e lhe será concedida.
(Tiago 1:5)*

AGRADECIMENTOS

- As nossas famílias! Primeira demonstração de amor nas nossas vidas. Amor incondicional que nos faz querer ser sempre melhores!
- Agradecemos a Deus pela direção e por cada pessoa que Ele colocou em nosso caminho nesta jornada.
- Eu, Daniella:
 - ✚ Agradeço ao meu grande companheiro na jornada da vida, Luiz Lucio, pelo seu apoio e incentivo;
 - ✚ Ao Carlos França pela parceria, confiança, compromisso e paciência compartilhada comigo neste ano de trabalho. Juntos somamos mais que dois, tornando assim a caminhada menos árdua!
- Eu, Carlos, agradeço a Daniella Ferreira por dividir os momentos de alegria, dificuldades e aprendizado, pois apenas trabalhando juntos fomos capazes de desenvolver ideias para chegar ao melhor resultado!
- A todos os professores que estiveram conosco durante este ano de trabalho, cada um a sua maneira e a seu tempo, compartilhando conhecimento e nos levando a avançar com eficiência até o resultado final.
- Agradecemos especialmente a nossa orientadora, Prof.^a. Dr.^a. Luciana Araújo, que acreditou na nossa proposta, nos deu as mãos, caminhou conosco até a conclusão final. O seu incentivo foi essencial para nos fortalecer a cada vez que tropeçamos. Ensinar é uma arte e um bom mestre extrapola os livros. Você nos levou a criar possibilidades para construção de nossa própria história!
- Ao Prof.^o Dr. Edipo Cremon, do IFG, que através de suas aulas bem elaboradas e claras nos apresentou o Sistema de Informação Geográfica, despertando em nós interesse vontade desenvolver este trabalho.

- Ao Prof.º Dr. Alex Mota dos Santos, professor da UFG, pelo interesse e reciprocidade para conosco sempre que solicitamos sua ajuda.
- Ao Engenheiro Cartógrafo José Ricardo Pitanga Negrão, Professor da Faculdade de Engenharia de Agrimensura da Bahia, que nos atendeu prontamente, contribui com material didático e compartilhou seu conhecimento.
- A Secretaria de Infraestrutura da cidade de Silvânia - GO, que gentilmente nos Ao meu amor, Rafael simplesmente por existir e dividir

RESUMO

Em 2018, o Brasil produziu, em média, 79 milhões de toneladas de lixo, segundo a Associação Brasileira de Resíduos Sólidos (Abrelpe). Comparado com países da América Latina é o campeão em geração de lixo, e conforme estimativas da Abrelpe a tendência de crescimento na produção de resíduos sólidos deve ser mantida nos próximos anos, podendo alcançar uma geração anual de 100 milhões de toneladas por volta de 2030. O objetivo deste trabalho foi colaborar com uma proposta de gerenciamento da coleta e transporte do lixo domiciliar, tendo como foco minimizar as distâncias percorridas, e, conseqüentemente custos financeiros. Foi abordada uma modelagem de rotas de coleta em um estudo de caso em uma cidade de pequeno porte. Foi usado um Sistema de Informação Geográfica – SIG – como ferramenta de roteirização para os veículos de coleta de resíduos e o software utilizado foi o ArqGis, versão 10.5, que permitiu desenvolver rotas utilizando algoritmos que incluem procedimento de roteirização em arco, através da extensão Network Analyst. Analisaram-se dois cenários: o executado atualmente, de maneira empírica, baseada exclusivamente na experiência do motorista, e outro gerado pelo software. Os resultados obtidos demonstraram reduções percentuais de distância total percorrida de até 40%.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos urbanos. Roteirização de veículos de coleta. Sistema de informações Geográficas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Ferramentas Características de um SIG	15
.Figura 1.2 - Estrutura	17
Figura 2.1 - Lixo Doméstico	20
Figura 2.2 - Lixo Comercial.....	21
Figura 2.3 - Lixo Público	21
Figura 2.4 - Lixo Domiciliar Especial	21
Figura 2.5 - Entulhos de Obras	22
Figura 2.6 - Lixo de Fontes Especiais	22
Figura 3.1 - Representação Gráfica de Rotas	33
Figura 3.2 - Esquema do Funcionamento de um Software de Otimização Aplicado a Transportes	34
Figura 3.3 - Caixeiro Viajante.....	35
Figura 3.4 - MilkRun.....	36
Figura 3.5 - Representação das Sete Pontes de Königsberg	37
Figura3.6 - Representação da Cidade de Königsberg / Grafo do Problema das Sete Pontes	37
Figura 3.7 - Grafo ou Rede Não Orientada	38
Figura 3.8 - Grafo ou Rede Orientada.....	38
Figura 3.9 - Grafo ou Rede Mista.....	39
Figura 3.10 - Funcionamento de um SIG	40
Figura 4.1 - Diagrama Metodológico	44
Figura 4.2 - Visualização Município de Silvânia	48
Figura 5.1 - Vista Aérea de Silvânia - GO	51
Figura 5.2 - Localização do Município de Silvânia - GO	52
Figura 5.3 - População da Cidade de Silvânia	52
Figura 5.4 - Caminhão Compactador de Coleta de RSU.....	53
Figura 5.5 - Imagem Satélite Amostra de Quadra em Silvânia.....	55
Figura 5.6 - Bolsões de Coleta Atual - Silvânia - GO.....	57
Figura 5.7 - Localização do Lixão - Silvânia - GO	58
Figura 5.8 - Malha Viária de Silvânia - GO.....	59
Figura 5.9 - Malha Viária de Silvânia - GO no QGIS	60
Figura 5.10 - Pontos Médios - QGIS	60
Figura 5.11 - Tabela de atributos ArcGis.....	63

Figura 5.12 - Integração das Informações e Componentes do ArqGIS - Network Analyst....	64
Figura 5.13 - Representação Gráfica da Coleta – Bolsão 1 – Segunda; quarta e sexta-feira	65
Figura 5.14 - Representação Gráfica da Coleta – Bolsão 1.1 - Segunda, quarta e sexta-feira	66
Figura 5.15 - Representação Gráfica da Coleta – Bolsão 1.2 – Segunda; quarta e sexta	66
Figura 5.16 - Representação Gráfica da Coleta – Bolsão 2 – Terça; quinta e sábado	67
Figura 5.17 - Representação Gráfica da Coleta – Bolsão 2.1 – Terça; quinta e sábado	67
Figura 5.18 - Representação Gráfica da Coleta – Bolsão 2.2 – Terça; quinta e sábado	68
Figura 5.19 - Representação Gráfica da Coleta – Bolsão 3 – Segunda a sábado.....	68
Figura 5.20 - Bolsões de Coleta Proposto - Silvânia - GO.....	71
Figura 5.21 - Representação Gráfica da Coleta Proposta – Bolsão 1 – Segunda; quarta e sexta-feira.....	71
Figura 5.22 - Representação Gráfica da Coleta Proposta – Bolsão 1 – Segunda; quarta e sexta-feira.....	72
Figura 5.23 - Representação Gráfica da Coleta Proposta – Bolsão 1 – Segunda; quarta e sexta-feira.....	72
Figura 5.24 - Representação Gráfica da Coleta Proposta – Bolsão 2 – Terça; quinta e sábado.....	73
Figura 5.25 - Representação Gráfica da Coleta Proposta – Bolsão 2 – Terça; quinta e sábado.....	73
Figura 5.26 - Representação Gráfica da Coleta Proposta – Bolsão 2 – Terça; quinta e sábado.....	74
Figura 5.27 - Desenho Geométrica da Rota da Tabela 5.5	78

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 - Distância Total (km) Percorrida por Bolsão	69
Gráfico 5.2 - Distâncias Totais (km) percorridas nos bolsões - Silvânia – GO.....	75
Gráfico 5.3 - Quilometragens Totais Percorridas	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Composição dos Resíduos Sólidos Coletados no Brasil em 2008.....	23
Tabela 2.2 - Composição dos Resíduos Sólidos de Alguns Países	24
Tabela 2.3 - - Classificação dos Resíduos Sólidos devido suas Características Físicas	24
Tabela 2.4 - Geração Per Capta	25
Tabela 2.5 - - Classificação quanto às Características Químicas.....	25
Tabela 2.6 - Características dos Veículos de Compactação	28
Tabela 5.1 - Características Dos Veículos de Coleta de Silvânia	54
Tabela 5.2 - Distâncias Totais em km para os bolsões – Cenário 1	70
Tabela 5.3 - Distâncias Totais (km) - Cenário 2	74
Tabela 5.4 - Quilometragem ao longo de um ano - Método Empírico e Método Computacional.....	76
Tabela 5.5 - Direção das Rotas.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE:	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FUNASA:	Fundação Nacional de Saúde
GPS:	<i>Global Positioning System</i> – Sistema Global de Posicionamento
GRS:	Gestão de Resíduos Sólidos
IMB:	Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos
ONU:	Organização das Nações Unidas
OSM:	<i>OpenStreetMap</i> -
RSU:	Resíduos Sólidos Urbanos
SIG:	Sistema de Informação Geográfica
SIG-T:	Sistema de Informação Geográfica Aplicadas ao Transporte
VGI:	<i>Volunteered Geographic Information</i> – Informações Geográficas Voluntárias
VPR:	<i>Vehicle Routing Problem</i> – Problema de Roteamento de Veículo

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2	OBJETIVO GERAL	14
1.2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.3	JUSTIFICATIVA	14
1.4	HIPÓTESE	16
1.5	ESTRUTURA	16
2.	GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – GRS	18
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – RSU.....	18
2.1	CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	19
2.1.1	Quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente (NBR 10.004):	19
2.1.2	Quanto à natureza ou origem:	20
2.2	CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	24
2.2.1	Quanto às Características Físicas:	24
2.2.2	Quanto às características químicas:	25
2.3	SISTEMA DE COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DOMICILIARES	27
2.4	GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES.....	30
3.	ROTEIRIZAÇÃO E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)	32
3.1	ROTEIRIZAÇÃO: DEFINIÇÕES E APLICAÇÃO NA COLETA DE RSU	32
3.2	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	39
3.3	SOFTWARES UTILIZADOS EM SIG	41
3.4	ESTUDOS APLICANDO SIG NA COLETA DE RSU	42
4.	DESCRIÇÃO DAS FASES METODOLÓGICAS UTILIZADAS	44
4.1	FASE 1: ATIVIDADES PRELIMINARES	45
4.2	FASE 2: USO DO SIG PARA TRAÇADO DAS ROTAS	46
4.3	FASE 3: ANÁLISE DO DESEMPENHO	49
5.	ESTUDO DE CASO - CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SILVÂNIA	50
5.1	ASPECTOS HISTÓRICOS, DEMOGRÁFICOS E GEOGRÁFICOS	50
5.2	COLETA E TRANSPORTE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	53
5.3	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE SILVÂNIA - GO	54
5.3.1	Situação Atual da Coleta no Município	56

5.4	USO DO SIG PARA TRAÇADO DAS ROTAS.....	59
5.5	USO DA FERREMENTA NETWORK ANALYST DO SIG ARCGIS	61
5.6	SIMULAÇÃO PELO VRP E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	65
5.6.1	DIREÇÃO DAS ROTAS GERADAS.....	76
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	79
6.1	CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO	79
6.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	80
7.	REFERÊNCIAS	81

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A produção de resíduos é uma atividade inerente dos seres vivos por toda vida. O crescimento das cidades e o aumento da densidade demográfica levam a um problema real na geração de resíduos sólidos, uma vez que a infraestrutura sanitária da maioria dos centros urbanos brasileiros não acompanha o ritmo acelerado desta expansão (REZENDE *et. al.*, 2013).

De acordo com a Fundação Nacional de Saúde - FUNASA, os resíduos sólidos se tornam um problema sanitário, já que favorece a proliferação de vetores causadores de doenças, tais como diarreias infecciosas, amebíase, salmoneloses, ascaridíases, teníases dentre outras. Ainda servem de criadouro de ratos transmissores de leptospirose e outras doenças e são locais de alimentação de animais, como cães, gatos, suínos, equinos e bovinos, por conter água e alimentos em sua constituição (BRASIL, 2004).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT - NBR 1004:2004, os resíduos sólidos são definidos como qualquer material no estado sólido e semissólido resultante de atividades agrícolas; comerciais; domésticas; hospitalares; industriais e de serviços de varrição, incluindo lodos oriundos de sistemas de tratamento de água; equipamentos; instalações de controle de poluição e determinados líquidos inviáveis para o lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água.

No Brasil, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2017), um total de 78,4 milhões de toneladas de Resíduos Sólido Urbano (RSU) foi gerado em 2017, havendo um aumento de cerca de 1% em relação ao ano de 2016, passando de 212.753 toneladas por dia para 214.868 t/dia. Ainda segundo a ABRELPE, cada brasileiro produziu 378 kg de lixo no ano de 2017, volume que daria para cobrir 1,5 campos de futebol. Para qualquer esfera de produção per capita de lixo, mais gente implica em mais lixo.

A maioria dos municípios colocam seus Resíduos Sólidos Urbanos – RSU - em aterros sanitários localizados em áreas afastadas da cidade, o que gera elevação nos custos de transportes e maior emissão de gases poluentes lançado por estes veículos. Os prejuízos

causados pela falta de planejamento de rotas de coleta causam dispêndios financeiros e ambientais.

Ao analisar os centros urbanos, percebe-se um processo contínuo de mudanças, seja por manutenção nas vias, congestionamentos ou pelo crescimento natural das cidades. Gerenciar as rotas de coleta é uma atividade complexa que exige um planejamento capaz de organizar os melhores traçados, atendendo toda população com a regularidade exigida. Com a melhoria das rotas é possível aperfeiçoar a coleta evitando o incômodo do acúmulo de lixo nas portas de residências e comércios, e consequentemente danos à comunidade. A engenharia desenvolve técnicas que se aplicadas tornam ferramentas capazes de melhorar a estruturação e planejamento da gestão desses resíduos.

No entanto, estabelecer um trajeto para um caminhão coletor requer constantes adequações, devido principalmente às mudanças viárias a que uma cidade está sujeita. De acordo com Battistella (2014), os roteiros de coleta em grande parte dos municípios brasileiros, especialmente os de pequeno e médio porte, são feitos manualmente, através da prática da equipe responsável, o que leva a uma elaboração de trajetos que muitas vezes não aproveita o máximo da capacidade.

A roteirização se faz necessária para ter uma programação operacional que atenda pontos e localidades geograficamente dispersos, beneficiando a população de maneira igual, e ao mesmo tempo, gastando o mínimo de recursos financeiros possível. Os veículos de coleta de lixo alteram as condições de circulação, criam conflitos no tráfego, reduz o nível de serviço das vias e compromete a segurança viária.

A proposta deste trabalho é estabelecer através de soluções computacionais, a possibilidade da geração e alteração de rotas de maneira fácil e eficiente, aos municípios que ainda não fazem uso de *software* para o planejamento, com o intuito de validar a importância do conhecimento técnico na execução do trabalho.

Por meio de uma representação da rede é possível visualizar a amplitude e condições reais onde ocorre o deslocamento dos veículos de coletas. Câmara, Davis e Monteiro (2001), estabelecem que os Sistemas de Informações Geográficas – SIG – resultam da combinação de tecnologias de sensoriamento remoto, GPS e geoprocessamento para o tratamento da informação geográfica, o que permite identificar as características das cidades e tratar estes dados, viabilizando a avaliação das variáveis que mais contribuem para a redução dos custos no transporte, como declividade, menores distâncias e impedâncias.

Através do contexto descrito, este Trabalho de Conclusão de Curso propõe analisar o uso Sistema de Informações Geográficas – SIG – na definição de rotas coleta de resíduos sólidos domiciliares em uma cidade de pequeno porte, que não faz uso de recurso computacional para determinação dos trajetos. O problema discutido é como dimensionar utilizando o SIG, as rotas de coleta de lixo, em um estudo de caso na cidade de Silvânia – GO, com o intuito de diminuir os caminhos improdutivos, considerando as menores distâncias, fazendo as rotas de caminho mínimo e consequentemente, minimizando custos sem causar prejuízo à população.

1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar e roteirizar a coleta de lixo de uma cidade de pequeno porte, utilizando um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar e avaliar a gestão dos resíduos sólidos urbanos no Município de Silvânia (GO);
- Testar e simular rotas, com base em indicadores de distância, considerando as restrições da malha viária, e escolher rotas de caminho mínimo, com o uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG);
- Comparar os cenários criados pelo software com as rotas utilizadas no cenário real (determinadas empiricamente), com o objetivo de verificar se houve melhora nas rotas em relação as distâncias percorridas pelos veículos de coleta.

1.3 JUSTIFICATIVA

A operação de coleta de Resíduos Sólidos Urbanos é realizada com predefinição das rotas a serem percorridas diariamente. Segundo a Fundação Nacional de Saúde - FUNASA (2017), o gerenciamento inadequado dos resíduos sólidos ainda é um dos maiores problemas do país e exige um planejamento integrado. Ressalta ainda que para ter um serviço eficiente é necessário a identificar as dificuldades da coleta, definir soluções com o uso de alternativas tecnológicas e estabelecer metas e prazos de atuação.

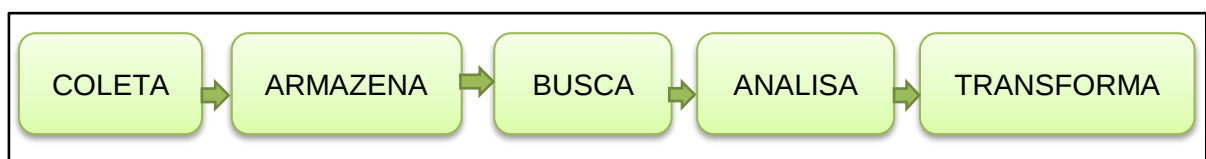
Segundo Vilhena (2018), os serviços de limpeza absorvem entre 5 e 15% dos recursos de um orçamento municipal, dos quais 40 a 60% são destinados exclusivamente à coleta e ao transporte de resíduos. Por isso rotas definidas por meios de estudos e planejamento acabam por evitar transtornos além de ajudar em diminuição de gastos. Para Barão, Kripka e Kripka (2008), os problemas de roteamento de veículos consistem em definir rotas para veículos que minimizem o custo total de atendimento, também chamados de rotas ótimas, assegurando que todos os pontos definidos previamente sejam atendidos, obedecendo às restrições e particularidades de cada problema.

Utilizar recursos tecnológicos que facilitem a escolha das rotas é um ponto positivo para as programações, pois potencializa o processo caso haja alguma especificidade. Segundo Nithya e Velumani (2012), o planejamento e implementação de um sistema de coleta e transporte eficaz podem ser feitos com a utilização de um SIG. O problema de coleta de Resíduos Sólidos Urbanos enquadra-se entre os problemas de roteirização de veículos.

Segundo Lacerda (2003), para ter um percurso que atenda as restrições de movimentação dos veículos coletores de lixo nas vias das cidades, com o menor custo, aproveitando a máxima capacidade dos caminhões e o melhor tempo de serviço, é preciso definir um conjunto de rotas que atendam um conjunto de determinadas áreas.

Assim, este problema é considerado bastante complexo, pois exige considerar as restrições presentes ao longo dos percursos. Um SIG é constituído por um conjunto de "ferramentas" especializadas em coletar, armazenar, buscar, analisar e transformar dados em informações, conforme a sequência esquematizada na Figura 1.1.

Figura 1.1 - Ferramentas Características de um SIG



Fonte: BALLOU (1993) - Adaptado pelos autores (2019)

Os dados coletados geograficamente descrevem objetos do mundo real em termos de posicionamento, com relação a um sistema de coordenadas, seus atributos não aparentes e das relações topológicas existentes. Portanto, um SIG pode ser utilizado no apoio a decisões de planejamento, considerando a concepção de que os dados armazenados representam um modelo do mundo real.

A utilização do SIG permite investigar as melhores rotas a serem percorridas durante a coleta de lixo. Esta tecnologia é capaz de fornecer acessibilidade à base de dados geográficos e de transportes, permitindo uma combinação dessas variáveis de diversas maneiras. Isso possibilitará um planejamento assertivo, uma vez que é possível visualizar antecipadamente as zonas geográficas a serem percorridas evitando atrasos causados por possíveis interferências aleatórias.

1.4 HIPÓTESE

Ao inserir uma rota planejada a partir de uso de um SIG em um município com coleta regular, haverá maior eficiência no serviço prestado devido à redução de uma importante variável no transporte de resíduos sólidos urbanos: distância.

1.5 ESTRUTURA

O TCC está estruturado em 6 capítulos organizados na seguinte ordem:

- Capítulo 1 – Introdução - trata-se de uma contextualização do tema proposto ressaltando a relevância e apresentação sucinta do problema;
- Capítulo 2 - Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) - revisão bibliográfica da gestão de Resíduos Sólidos Urbanos, destacando definições, características, classificação, controle e planejamento pertinentes ao estudo de caso proposto;
- Capítulo 3 - Roteirização e Sistema de Informação Geográfica (SIG) - este capítulo descreve com bases teóricas, histórico, definições, componentes e *softwares* do SIG utilizados para roteirização no transporte;
- Capítulo 4 - Metodologia
- Capítulo 5 - Estudo de Caso;
- Capítulo 6 – Considerações Finais.

A estrutura proposta está apresentada na Figura 1.2

.Figura 1.2 - Estrutura

CAP. 1	• Contextualização • Objetivo geral e específicos • Justificativa • Hipótese
	GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)
CAP. 2	• Resíduos sólidos urbanos - RSU • Classificação dos resíduos sólidos • Características dos RSU • Sistema de coleta e transporte de RSU domiciliares
	ROTEIRIZAÇÃO E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)
CAP. 3	• Roteirização: definições e aplicação na coleta de RSU • Sistema de informação geográfica - SIG • Softwares utilizados em SIG
	METODOLOGIA
CAP. 4	• Fase 1: Atividades preliminares • Fase 2: Uso do SIG para o traçado das rotas • Fase 3: Análise de desempenho
	ESTUDO DE CASO
CAP. 5	• Aplicação da Fase 1: Caracterização dos Serviço de Coleta da cidade de Silvânia - GO • Aplicação da Fase 2: Traçado e simulação das rotas • Aplicação da Fase 3: Análise de desempenho
	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES
CAP. 6	• Contribuições do trabalho • Limitações da pesquisa • Recomendações para outros trabalhos

Fonte: Autores (2019)

2. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – GRS

A sociedade moderna vive tempos de crescimento populacional e se defronta com o grande problema da geração excessiva de lixo e da disposição final ambientalmente segura. O alto índice de consumo das pessoas torna o descarte um problema que preocupa e requer um gerenciamento adequado da coleta de resíduos sólidos, especialmente os urbanos. O padrão de consumo capitalista vem alinhado com estratégias das empresas na obtenção de lucros, que produz grande variedade de supérfluos com uma obsolescência programada.

O trajeto por onde o veículo coletor percorre dentro de um mesmo setor, num mesmo período, transportando o máximo de lixo num caminho mínimo improdutivo com o menor desgaste das equipes e do veículo é chamado itinerário. Percursos improdutivos são os trechos em que o veículo não realiza coleta, serve apenas para o deslocamento de um lado para outro. Um roteiro de coleta deve contemplar início e término do percurso, pontos de coleta manual – onde o veículo não tem acesso, trechos com percurso “morto” e manobras especiais, tais como ré e retorno (VILHENA, 2018). Percurso “morto” é aquele repetido apenas para as manobras em respeito ao trânsito, com o objetivo de acesso a outros locais na sequência utilizada para coleta. É admissível uma extensão total de percurso morto ou improdutivo correspondente a no máximo 20% da extensão total do percurso de coleta efetivamente produtivo. (BRASIL, 2000)

O gerenciamento do lixo municipal é um conjunto articulado de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que uma administração municipal desenvolve, para coletar, segregar, tratar e dispor o lixo em uma cidade (VILHENA, 2002). O mau planejamento das rotas de coleta encarece o transporte e pode causar prejuízos a toda população.

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – RSU

Segundo Dasmasceno e Maragno (2004) os RSU são todos os materiais descartados no dia a dia e sua composição varia de acordo com o desenvolvimento e tamanho da população, sendo a produção de lixo diretamente proporcional ao número populacional, que hoje, segundo relatório emitido pela Organização das Nações Unidas – ONU – (2019), é de 7,2 bilhões de pessoas no mundo. O lixo é democrático e não faz distinção de indivíduos, é um descarte comum a todos com variação de quantidades.

Denomina-se resíduos sólidos os restos das atividades humanas, consideraras pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis. Normalmente apresentam-se sobestado sólido, semissólido ou semilíquidos - com conteúdo líquido insuficiente para que este possa fluir livremente (ABNT – NBR 1004:2004).

Segundo Brasil (2004), os resíduos sólidos são constituídos por materiais heterogêneos, podendo ser inertes, orgânicos e minerais que resultam de atividade humanas ou descarte da natureza, e ainda podem ser parcialmente reaproveitados.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Os RSU são classificados de várias maneiras, sendo as mais comuns quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente e quanto à natureza ou origem (ZVEIBIL, 2001):

2.1.1 QUANTO AOS RISCOS POTENCIAIS DE CONTAMINAÇÃO DO MEIO AMBIENTE (NBR 10.004):

Classe I ou Perigosos: São aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

Classe II ou Não Inertes: São os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente;

Classe III ou Inertes: São aqueles que, por suas características naturais, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e quando amostrados de forma representativa, segundo a norma NBR10.007 (2004), e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, conforme teste de solubilização segundo a norma NBR 10.006 (2004), não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água conforme listagem nº 8 da NBR 10.004, executando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor (ZVEIBIL, 2001).

2.1.2 QUANTO À NATUREZA OU ORIGEM:

A origem é o principal elemento para a caracterização dos resíduos sólidos. Segundo o Zveibil (2001), este critério pode ser agrupado em cinco classes, a saber:

Lixo doméstico ou residencial: são resíduos gerados nas atividades diárias, em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações comerciais (Figura 2.1).

De acordo com a NBR 10.004 (2004) e Vilhena e D'Almeida (2000), o lixo doméstico tem origem da vida diária das residências constituída por restos de alimentos, produtos deteriorados, jornais e revistas, garrafas, embalagens em geral, papel higiênico, fraldas descartáveis e uma grande diversidade de outros itens.

Figura 2.1 - Lixo Doméstico



Fonte: Autores

Lixo comercial: são resíduos gerados em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da atividade ali desenvolvida (Figura 2.2).

“Nas atividades de limpeza urbana, os tipos “doméstico” e “comercial” constituem o chamado “lixo domiciliar”, que, junto com o lixo público, representam maior parcela dos resíduos sólidos produzidos na cidade” (ZVEIBIL, 2001)

O grupo de lixo comercial, assim como entulhos de obras são divididos em subgrupos de pequenos e grandes geradores, podendo-se adotar os seguintes parâmetros:

- Pequeno Gerador de resíduos Comerciais: negócios que geram até 120 litros de lixo por dia;
- Grande Gerador de Resíduos Comerciais: empreendimentos que geram um limite de resíduos superior a 120 litros por dia.

Figura 2.2 - Lixo Comercial



Fonte: G1 (2019)

Lixo público: são os resíduos presentes nos logradouros públicos, em geral, resultantes da natureza, tais como folhas, galhadas, poeira, terra e areia, e também aqueles descartados irregular ou indevidamente pela população, como entulho, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos (Figura 2.3).

Figura 2.3 - Lixo Público



Fonte: O Regional (2019)

Lixo domiciliar especial: faz parte deste grupo os entulhos de obras (pequenas quantidades), pilhas, baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus (Figura 2.4).

Figura 2.4 - Lixo Domiciliar Especial



Fonte: ECycle (2019)

Entulhos de obras: de acordo com o Zveibil (2001) são os resíduos gerados pela construção civil em grandes quantidades e que mais danifica os recursos naturais. Ressalta

ainda que em países desenvolvidos, a média de resíduos provenientes de novas edificações encontra-se abaixo de 100 kg/m², enquanto que no Brasil este índice gira em torno de 300kg/m² edificado, o que corresponde a 50% da quantidade em peso de resíduos sólidos urbanos coletado em cidades com mais de 500 mil habitantes de diferentes países, inclusive o Brasil (Figura 2.5).

Figura 2.5 - Entulhos de Obras



Fonte: Autores (2019)

Lixo de fontes especiais: são os lixos industriais, radioativo, lixo de portos, aeroportos e terminais rodoviários, lixo agrícolas e resíduos da saúde. Esses materiais descartados, em função de suas peculiaridades, necessitam de cuidados especiais em seu manuseio, acondicionamento, estocagem, transporte e disposição final (Figura 2.6).

Figura 2.6 - Lixo de Fontes Especiais



Fonte: ECycle (2019)

A composição dos resíduos sólidos é variável e depende do número de habitantes da comunidade, seus hábitos, costumes, poder aquisitivo, nível educacional, clima e desenvolvimento do local (CASTRO, 2006). Segundo Lacerda (2003), determinar essa composição, tanto do ponto de vista qualitativo quanto quantitativo, são de extrema importância para o devido dimensionamento da coleta, transporte, e destinação final dos resíduos.

I. Composição qualitativa:

De acordo com Vilhena e D'Almeida (2000), o lixo apresenta os seguintes componentes:

- Componentes Putrescíveis: couro, madeira, matéria orgânica, papel, papelão, etc.
- Componentes recicláveis: borracha, madeira, matéria orgânica, metais ferrosos e não ferrosos, papel, vidro, etc.
- Componentes combustíveis: borracha, couro, madeira, tecidos, plásticos, etc.

II. Composição quantitativa:

A Tabela 2.1 mostra as composições dos resíduos sólidos domiciliares no Brasil e a Tabela 2.2 a composição em alguns outros países.

Tabela 2.1 - Composição dos Resíduos Sólidos Coletados no Brasil em 2008

Resíduos	Participação %	Quantidade (t/dia)
1. Material Reciclável Total	48,30	88.668,90
1.1 Metais	2,90	5.293,50
1.2 Aço	2,30	4.213,70
1.3 Alumínio	0,60	1.079,90
1.4 Papel, papelão e tetrapak	13,10	23.997,40
1.5 Plástico Total	13,50	24.847,90
1.6 Plástico Filme	8,90	16.399,60
1.7 Plástico Rígido	4,60	8.448,30
1.8 Vidro	2,40	4.388,60
2. Matéria Orgânica	51,40	94.335,10
3. Outros	16,70	30.618,90
4. Total	100,00	183.481,50

Fonte: Mota E Alvarez (2012)

Tabela 2.2 - Composição dos Resíduos Sólidos de Alguns Países

Resíduos (%)	Alemanha	Holanda	EUA
1. Material Reciclável Total	38,80	49,70	64,40
1.1 Vidro	10,40	14,50	8,20
1.2 Metal	3,80	6,70	8,70
1.3 Plástico	5,80	6,00	6,50
1.4 Papel	18,80	22,50	41,00
2. Material Orgânico	61,20	50,30	35,60
TOTAL	100,00	100,00	100,00

Fonte: Zveibil, 2001

Observando na Tabela 2.2 a composição do lixo em alguns países, percebe-se uma tendência à redução da participação de material orgânico nos países mais desenvolvidos ou industrializados, provavelmente em razão da grande incidência de alimentos semi preparados disponíveis no mercado consumidor (ZVEIBIL, 2001).

2.2 CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A NBR 10.004 (2004) classifica os resíduos sólidos segundo suas características químicas e físicas.

2.2.1 QUANTO ÀS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

Tabela 2.3 - - Classificação dos Resíduos Sólidos devido suas Características Físicas

Geração Per Capita	Relaciona a quantidade de RSU gerada diariamente e o número de habitantes de determinada região. Considera-se de 0,5 a 0,8kg/hab./dia como a faixa de variação média para o Brasil. Na ausência de dados mais precisos, a geração <i>per capita</i> pode ser estimada através da Tabela 2.4
Composição Gravimétrica	Diz respeito ao percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de lixo analisada. Os componentes mais utilizados nesta determinação estão na Tabela 2.1.
Peso Específico	É o peso do lixo solto em função do volume ocupado livremente, sem qualquer compactação, expresso em kg/m ³ . A determinação

Aparente	é necessária para dimensionamento de equipamentos de coleta e instalações físicas. Na ausência de dados, pode-se utilizar os valores de 230kg/m ³ para o peso específico do lixo domiciliar, de 280kg/m ³ para o peso específico dos resíduos de serviços de saúde e de 1.300kg/m ³ para o entulho de obras.
Teor de Umidade	Representa a quantidade de água presente no lixo, medida em percentual de seu peso. Esse parâmetro se altera em função das estações do ano e da incidência de chuvas, podendo-se estimar um teor de umidade variando em torno de 40 a 60%.
Compressividade	É o grau de compactação ou redução do volume que uma massa de lixo pode sofrer quando compactada. Submetido a uma pressão de 4kg/cm ² , o volume do lixo pode ser reduzido de um terço a um quinto do seu volume original.

Fonte: Dados NBR 10.004 da ABNT

Com as indicações da Tabela 2.4 é possível fazer uma estimativa da geração *per capita* na geração de lixo em detrimento da população do município.

Tabela 2.4 - Geração Per Capta

TAMANHO DA CIDADE	POPULAÇÃO URBANA (habitantes)	Geração <i>Per Capita</i> (kg/hab./dia)
Pequena	Até 30 mil	0,5
Média	De 30 mil a 500 mil	De 0,5 a 0,8
Grande	de 500 mil a 5 milhões	De 0,8 a 1,00
Megalópole	Acima de 5 milhões	Acima de 1,00

Fonte: Dados NBR 10.004

2.2.2 QUANTO ÀS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

Tabela 2.5 - - Classificação quanto às Características Químicas

Poder Calorífico:	Indica o potencial de um material desprender determinada quantidade de calor quando submetido à queima. O poder calorífico médio do lixo domiciliar se situa na faixa de
--------------------------	--

	5.000kcal/kg.
Potencial Hidrogeniônico (pH):	Indica o teor de acidez ou alcalinidade dos resíduos. Em geral situa-se na faixa de 5 a 7.
Composição Química:	É a determinação dos teores de cinzas, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, resíduo mineral total, resíduo mineral solúvel e gorduras.
Relação Carbono/Nitrogênio (C:N):	Indica o grau de decomposição da matéria orgânica do lixo nos processos de tratamento/disposição final. Em geral, essa relação encontra-se na ordem de 35/1 a 20/1.

Fonte: Dados NBR 10.004

Segundo Lacerda (2003), é importante conhecer os dados referentes às quantidades de resíduos gerados e suas características para o dimensionamento da frota, definição de setores de coletas, unidades de recuperação de material e disposição final. Estes dados também podem subsidiar informações para programas de minimização e levantamentos de potencialidades econômicas.

Sem o conhecimento das características físicas dos resíduos sólidos não é possível efetuar uma gestão adequada dos serviços de limpeza urbana. Existem alguns procedimentos práticos para a determinação do peso específico, composição gravimétrica, teor de umidade e geração per capita do lixo urbano. Segundo o Zveilbil (2001), é necessário determinar o peso específico aparente, a composição gravimétrica, o teor de umidade para se calcular a geração *per capita*. Vale ressaltar que a estimativa apresenta imprecisões devido a variação do volume de lixo produzido em decorrência de cada época do ano analisada. Na inexistência de dados demográficos detalhados podem-se utilizar projeções populacionais para determinar a produção de lixo em função do tamanho da população.

2.3 SISTEMA DE COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DOMICILIARES

Em relação à problemática dos RSU gerados pela população a coleta de lixo é o que mais se destaca. A aglomeração do lixo nas casas e calçadas geram problemas de natureza ambiental e social, por sua vez poluindo o meio ambiente e ajudando na proliferação de doenças e exalando mau odor. O planejamento para se coletar e transportar deve ser feita de maneira regular estabelecendo dias e horários, mantendo continuidade para que as comunidades possam ajudar na eficiência do serviço.

A coleta de resíduo domiciliar deve ser realizada sempre nos mesmos dias e horários, regularmente, para que os cidadãos se habituem a colocar os resíduos somente nos dias e horários de coleta. Após definidos, esses parâmetros devem ser informados para a comunidade e seguidos fielmente de modo que a população confie no serviço e colabore depositando seus resíduos adequadamente (ZVEIBIL, 2001).

O serviço público municipal é o responsável por coletar e transportar o RSU domiciliar para áreas de tratamento ou destinação final. Segundo Paes (2004), as operações de coleta devem englobar desde a partida do veículo de sua garagem, compreendendo todo o percurso gasto na viagem para remoção dos resíduos dos locais onde foram acondicionados aos locais de descarga, até seu retorno ao ponto de partida.

De acordo com VILHENA (2018), o planejamento do transporte se faz inicialmente rota por rota. É necessário determinar as condições de operação e os custos para a situação atual, de forma a se ter uma referência básica de comparação ao analisar posteriormente alternativas. Além, disso é necessário planejar o transporte e fluxos nas diversas ligações da rede; nível de serviço atual; nível de serviço desejado; características ou parâmetros sobre a carga; e tipos de equipamento disponíveis e suas características (capacidade, fabricante, etc.).

Para caracterizar a carga, deve-se considerar o peso e volume; densidade média; dimensões da carga; dimensões do veículo; nível de periculosidade; estado físico e compatibilidade das cargas (por exemplo, a coleta do lixo de serviços de saúde deve ser separada do lixo domiciliar).

Segundo Vilhena e D'Almeida (2000), o dimensionamento dos serviços de coleta de lixo domiciliar tem como objetivo determinar o número de veículos necessários aos serviços de

coleta, bem como os demais elementos que compõem o itinerário. Tal dimensionamento pode ser necessário tanto para a ampliação dos serviços quanto para a reformulação parcial ou total do serviço já prestado. De acordo com Zveibil (2001), para a coleta e transporte de resíduo domiciliar há dois tipos de veículos: os com compactação e sem compactação. A Tabela 2.6 apresenta as principais características de cada um deles.

TABELA 2.6 - Características dos Veículos de Compactação

TIPO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Caminhão com sistema de compactação com capacidade de 15 m² a 50 m². 	Capacidade de coletar grandes volumes; Mais econômico: reduz em média 34% do volume do lixo; Maior velocidade de operação; Maior produtividade; Evita derramamento de resíduos Descarregamento rápido; Condições ergométricas ideais para os garis.	Preço elevado do equipamento; Alto custo de manutenção mecânica; Não trafega em trecho de acesso complicado; Relação custo/benefício desfavorável em cidade de baixa densidade populacional.
Caminhão sem compactação   Trator com carroceria	Baixo investimento; Relação custo/benefício favorável para municípios de baixas populações.	Menos produtividade; Transporte de menor quantidade de volume; Derramamento de resíduos.

Fonte: Autores (2019)

Ainda segundo Zveibil (2001), um bom veículo de coleta de resíduo domiciliar deve possuir as seguintes características:

- Não permitir derramamento do resíduo ou do chorume na via pública;
- Apresentar taxa de compactação de pelo menos três por um, ou seja, cada 3 m³ de resíduos ficarão reduzidos, por compactação, a 1 m³;
- Apresentar altura de carregamento na linha de cintura dos garis, ou seja, no máximo a 1,20 m de altura em relação ao solo;
- Possibilitar esvaziamento simultâneo de pelo menos dois recipientes por vez;
- Possuir carregamento traseiro, de preferência. A coleta de resíduo sólido é uma operação perigosa para os garis. Quando o veículo para, a guarnição fica sujeita as eventuais batidas de outras viaturas contra a traseira do compactador. Muito cuidado deve ser adotado com os mecanismos de compactação e com o transporte dos garis no caminhão;
- Dispor de local adequado para o transporte dos trabalhadores;
- Apresentar descarga rápida do resíduo no destino (no máximo em três minutos);
- Possuir compartimento de carregamento (vestíbulo) com capacidade para no mínimo 1,5 m³;
- Possuir capacidade adequada de manobra e de vencer aclives;
- Possibilitar basculamento de contêineres de diversos tipos;
- Distribuir adequadamente a carga no chassi do caminhão;
- Apresentar capacidade adequada para o menor número de viagens ao destino, nas condições de cada área

De acordo com Vilhena (2018) e Brasil (2004), é necessário dimensionar a frota de veículos e os itinerários, sendo que, pode ser necessária uma reformulação parcial ou total do serviço já prestado quando for identificada baixa eficiência e produtividade. O dimensionamento dos serviços de coleta requer as seguintes etapas:

1. Levantamento de dados:

- a. Mapa geral do município;
 - b. Veículos disponíveis da frota e suas respectivas capacidades, quando não se tratar de dimensionamento de um novo serviço;
 - c. Sentido do tráfego das vias.
2. Localização de pontos importantes para coleta:
 - a. Localização da garagem dos veículos e local da destinação final;
 - b. Localização de unidades ou locais de grande geração de resíduos.
3. Definição dos setores de coleta:
 - a. Subdivisão da cidade em setores de coleta que representem regiões homogêneas em termo se geração de lixo per capita, do uso e ocupação do solo;
 - b. Definição de horários e frequência da coleta, considerando a produção de lixo nos setores, evitando o acúmulo de resíduos e os inconvenientes ao trânsito regular.
4. Estimativa da quantidade de lixo por setor:
 - a. A estimativa da quantidade de lixo pode ser determinada conforme indicado na Tabela 2.4.
5. Estimativa dos parâmetros operacionais:
 - a. Distância entre a garagem da empresa e o setor de coleta;
 - b. Distância entre o setor de coleta e o ponto de descarga;
 - c. Extensão total das vias do setor de coleta;
 - d. Velocidade média no percurso durante a coleta: depende da topografia do local, do tamanho da carga, da quantidade de lixo a ser coletada por unidade de distância (kg/km) – pode variar entre 4 e 6,5km/h;
 - e. Velocidade média nos percursos entre a garagem e o setor de coleta e entre o setor de coleta e o ponto de descarga e vice-versa, pode variar entre 15 a 30km/h.

2.4 GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, integram o gerenciamento de resíduos a geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte e disposição final. Os resíduos precisam ser transportados mecanicamente do destino gerador até o descarte final. Para que haja a coleta desse

material, os cidadãos deve acondicionar o lixo adequadamente e dispô-los nos períodos pré-determinados da coleta, colaborando assim com a eficiência do trabalho das equipes.

De acordo com Aguiar e Philippi Jr (2004), o planejamento eficiente e bem administrado no serviço de coleta deve considerar algumas variáveis, como a frequência, os pontos de coleta, o horário e a forma de coleta para que causem menos transtornos à população e seja sanitária e economicamente viável.

A última etapa do processo de gerenciamento dos resíduos sólidos consiste na disposição final, que pode se dar por meio do aterro sanitário, aterro controlado e o popular “lixão”. O aterro sanitário é um processo utilizado para a disposição de resíduos sólidos no solo, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas que permitem uma confinamento segura, em termos de controle de poluição ambiental e proteção da saúde pública. A grande geração de resíduos sólidos, causada pelo constante aumento populacional com desejos de consumos exacerbados, dificulta cada vez mais a disposição final desses resíduos e torna complexa a gestão pelos municípios.

3. ROTEIRIZAÇÃO E SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRAFICA (SIG)

Segundo Câmara, Davis e Monteiro (2001) os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) 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.

Ainda de acordo com Câmara, Davis e Monteiro (2001), as características de um Sistema de Informações Geográficas podem ser divididas em software, hardware, dados, metodologias e recursos humanos.

O software é o conjunto de programas que tem por objetivo coletar, armazenar, processar e analisar dados geográficos. É formado basicamente por cinco etapas:

1. Coleta, padronização, entrada e validação de dados;
2. Armazenamento e recuperação;
3. Transformação ou processamento de dados;
4. Análise e geração de informação;
5. Saída e apresentação de resultados.

Denomina-se *hardware* o conjunto de equipamentos necessários para o desempenho das funções realizadas pelo *software*. Os dados são as informações brutas que alimentam o sistema e dá origem a informação. Os recursos humanos é a parte que opera o sistema e é essencial para o correto uso das ferramentas. As metodologias estão ligadas ao conhecimento e experiência profissional, que a partir do objetivo específico trata os dados com o intuito de obter os resultados desejados. A eficiência do sistema precisa além da capacidade de processamento, da experiência do usuário para manipulação dos dados.

3.1 ROTEIRIZAÇÃO: DEFINIÇÕES E APLICAÇÃO NA COLETA DE RSU

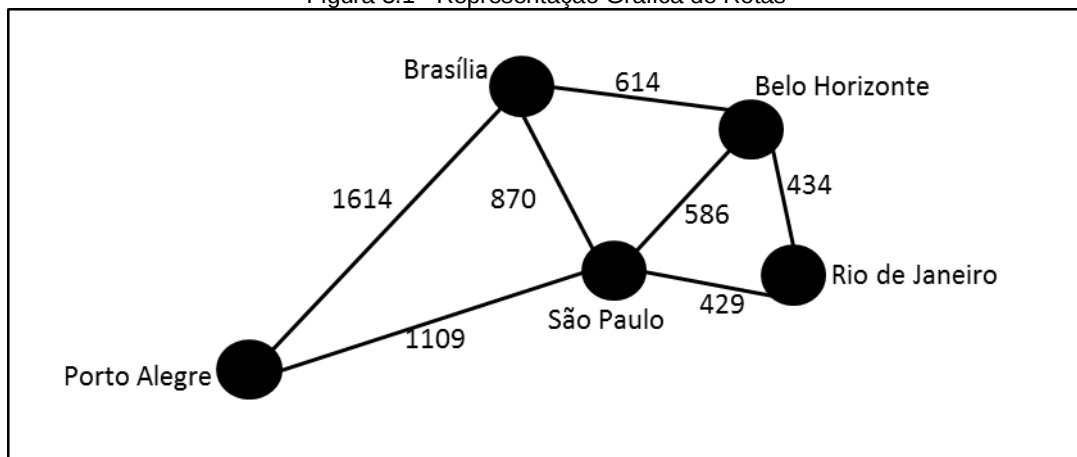
O termo roteirização é a forma utilizada como equivalente ao inglês "*routing*" para designar o processo de determinação de um ou mais roteiros ou sequências de paradas a serem cumpridas por veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de pontos geograficamente dispersos, em locais pré-determinados que necessitem de atendimento. A

escolha de roteiros é a definição de uma ou mais rotas a serem percorridas por veículos de uma frota, passando por locais que devem ser contemplados (BRASILEIRO, 2004).

Roteirizar a coleta de resíduos sólidos urbanos é uma atividade de programação ordenada, em que os veículos são colocados em um circuito composto por todos os pontos envolvidos, e a oferta do caminhão é compartilhada por um conjunto de demandas, inclusive aos pontos mais isolados que não devem ser atendidas por meio de rotas diretas, para evitar baixa frequência de atendimento e aumento no custo da operação. De acordo Novaes (2007), a roteirização tem como objetivos principais oferecer um atendimento de alto nível aos clientes, mantendo custos operacionais e de capitais o mais baixo possível.

Segundo WU (2007), a roteirização é uma importante ferramenta na área de transportes, pois permite que se atendam pontos dispersos geograficamente, diminuindo distâncias e tempos. Para a determinação de rotas com maior eficiência, o autor considera vários fatores como tipo de veículo, restrições operacionais, duração do trajeto e janelas de tempo. A roteirização de veículos pode ser caracterizada por n clientes (representados numa rede de transportes por nós ou arcos), que deverão ser atendidos por uma frota de veículos, em uma demanda geograficamente dispersa, sendo que, para cada ligação entre um par de nós há distâncias e custos associados, como mostra a Figura 3.1 (figura ilustrativa, fora de escala).

Figura 3.1 - Representação Gráfica de Rotas



Fonte: Autores (dados Google Maps)

Segundo Lima, Lima e Silva (2012) embora os problemas de roteirização de veículos apresentem variações, é possível reduzi-los segundo a origem e destino do trajeto e segundo o tipo de modelagem (nó ou arco). Em relação à origem e destino, há o problema de se definir um trajeto na rede em que os pontos de origem e destino:

- Sejam diferentes,

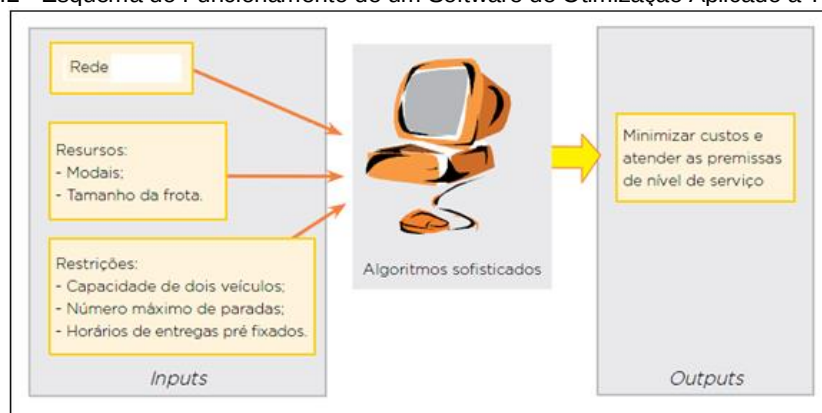
- Sejam coincidentes,
- Existam múltiplos pontos de origem e destino.

De acordo com Cunha (2000) os problemas de roteirização em relação ao ambiente de distribuição, podem ser divididos em dois grupos: roteirização no meio urbano, em que tanto os atendimentos quanto a base localizam-se na mesma área urbana e os percursos do roteiro são predominantemente urbanos, e a roteirização intermunicipal, na qual os atendimentos localizam-se em municípios distintos da base e, entre si, os percursos do roteiro são predominantemente rodoviários. Os problemas no meio urbano tendem a serem mais complexos do ponto de vista da análise combinatória pela maior possibilidade de caminhos, restrições à circulação de veículos e incertezas quanto aos tempos de viagem.

A aplicação de roteiros no transporte de resíduos sólidos urbanos, além do planejamento nos itinerários, traz a possibilidade de evitar ao máximo os caminhos improdutivos, que são aqueles onde o veículo não realiza coleta, apenas utiliza para ir de um ponto a outro. Ao se obter a rota ótima, os serviços de coleta são viabilizados e possíveis a todos os pontos de demanda dentro de custos operacionais praticáveis (BATTISTELA, 2014).

Atualmente o mercado dispõe de *softwares* de roteirização que auxiliam os gestores de frota a planejarem e programarem seus serviços, através de soluções relativamente satisfatórias para o problema de roteirização. Segundo Marques, *apud* Ravagnolli (2006) os roteirizadores operam baseados em algoritmos avançados de otimização e modelos bem robustos, com o objetivo de minimizar o custo total da operação. A Figura 3.2 esquematiza o funcionamento de um software de otimização aplicado ao transporte.

Figura 3.2 - Esquema do Funcionamento de um Software de Otimização Aplicado a Transportes



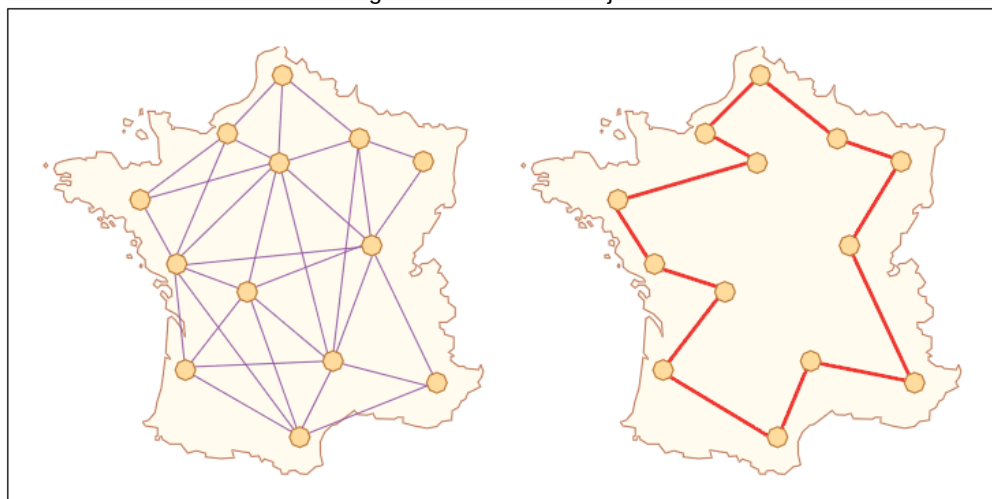
Fonte: Ravagnolli (2006)

Os *inputs* são os primeiros dados a entrar no processo. De acordo com Chiavenato (2011) são esses dados que permitem a operação. A entrada de um sistema é tudo o que importa

ou recebe do seu exterior. São os recursos que serão tratados, transformados ou convertidos para seguir por um determinado processo (algoritmos) com o intuito de sofrer alterações em sua natureza e cria algo novo, o produto final, que são os *outputs*. Utilizar um roteirizador pode permitir ganhos significativos, tanto do ponto de vista financeiro, com a redução de custos operacionais como no nível de serviço prestado.

Desde meados do século XX, vem sido desenvolvidas abordagens matemáticas para os problemas persistentes de roteirização. Uma das principais consistia em buscar um roteiro que cobrisse um número determinado de pontos com a menor distância possível e sem repetir nenhum dos pontos anteriores visitados. Esta abordagem foi denominada de “Problema do Caixeiro Viajante”, que não permitia a repetição dos nós rotulados já visitados, esquematizada na Figura 3.3.

Figura 3.3 - Caixeiro Viajante



Fonte: Logística Descomplicada (2010)

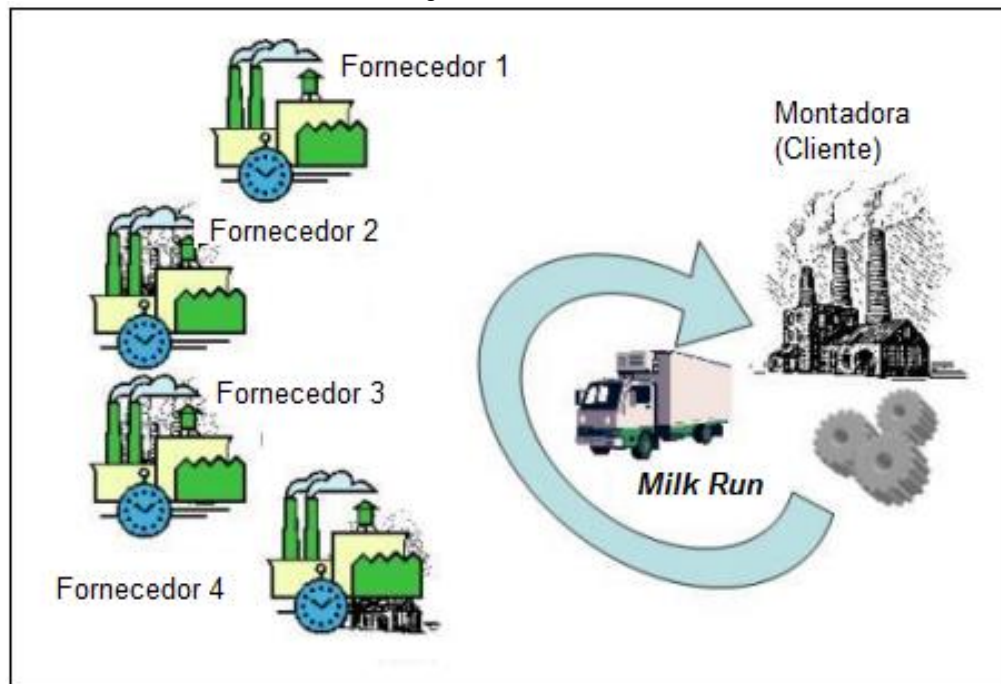
O procedimento do Caixeiro Viajante, esquematizado na Figura 3.3, consiste em procurar um circuito que possua a menor distância, começando em um nó inicial, visitando todos os demais nós precisamente uma vez e regressando ao nó inicial. Os nós são os vértices e os caminhos definem as arestas em uma modelagem em grafos. Existem basicamente duas formas de solução para o problema do carteiro viajante:

1. Métodos exatos: analisam basicamente todas as alternativas possíveis através de uma complexidade fatorial; consiste em expandir os nós e cortar os caminhos de pesquisas que não são promissores;

2. Métodos heurísticos: com base em heurísticas é possível encontrar soluções aproximadas, ou seja, não são soluções exatas, mas fornecem um resultado satisfatório em tempo hábil.

Outro procedimento é o *Milk Run*, termo de origem inglesa que pode ser traduzido como “corrida do leite”, fazendo referência ao antigo sistema de entrega de leite, o qual tinha um horário já definido para suas ações, ilustrado na Figura 3.4.

Figura 3.4 - MilkRun

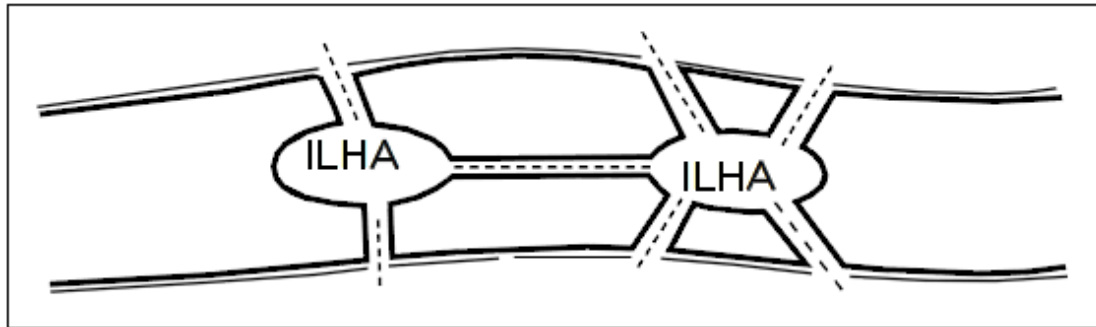


Fonte: Pires (2007), adaptado pelos autores

Segundo Pires (2007), o foco é ter um sistema de abastecimento com roteiros e horários pré-definidos para as coletas de materiais junto aos fornecedores com um único veículo. O principal objetivo é a redução dos custos através da racionalização das rotas, aumentando a confiabilidade do processo como um todo, podendo o sistema operar com diversas frequências, a depender da necessidade da operação.

Outras teorias abordadas com os mesmos objetivos são o Problema das Sete Pontes e o Problema do Carteiro Chinês, em que as pontes e ruas devem ser visitadas no menor tempo possível. No século XVIII na cidade de Königsberg (Prússia, atual Kaliningrado Rússia) havia um rio chamado Pregel e, nesse rio, duas ilhas. Ligando uma ilha a outra existia uma ponte. A primeira ilha possuía outras quatro pontes, duas para cada margem do rio. Na segunda ilha, havia duas pontes, cada qual ligando uma margem, totalizando sete pontes, conforme Figura 3.5.

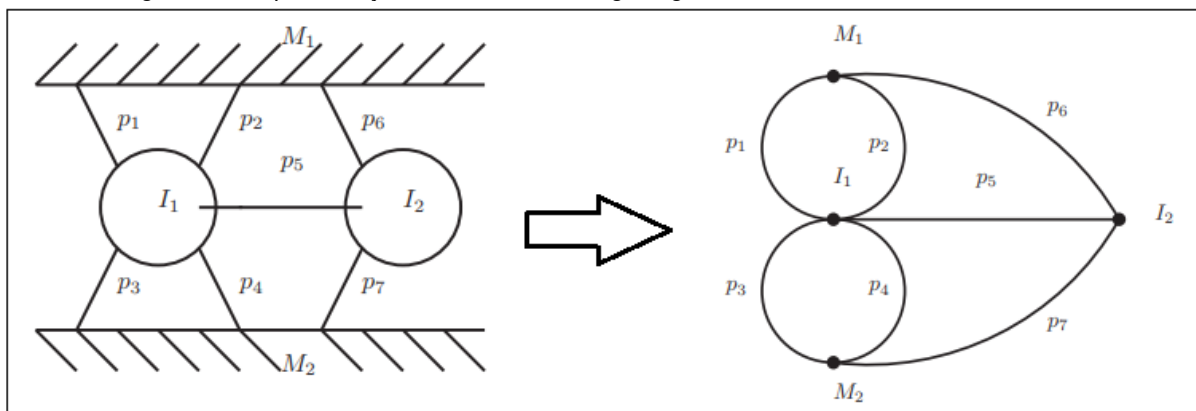
Figura 3.5 - Representação das Sete Pontes de Königsberg



Fonte: Globo Ciência (2012)

Os habitantes de Königsberg desejavam realizar um desfile e não queriam passar mais de uma vez sobre cada ponte. O problema das “Sete Pontes de Königsberg” foi resolvido pelo matemático Leonardo Euler, em 1736. O matemático eliminou os detalhes que não influenciava no problema, como a distância entre as linhas e o tamanho das ilhas e se concentrou em aspectos que considerou importante. Com isso representou o problema de uma forma simples, conforme a Figura 3.6 e acredita-se que esta estrutura tenha sido o primeiro exemplo de grafo, denominado Grafo Eurliano.

Figura3.6 - Representação da Cidade de Königsberg / Grafo do Problema das Sete Pontes



Fonte: Freitas (2015) Adaptado pelos Autores

Na figura 3.6, p_5 representa a ponte que liga uma ilha à outra na cidade de Königsberg e as outras seis pontes (p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 e p_7) liga às margens (M_1 e M_2), exatamente como representado acima. A figura da esquerda diz respeito a esquematização da cidade em questão e a da direita ao grafo elaborada por Euler.

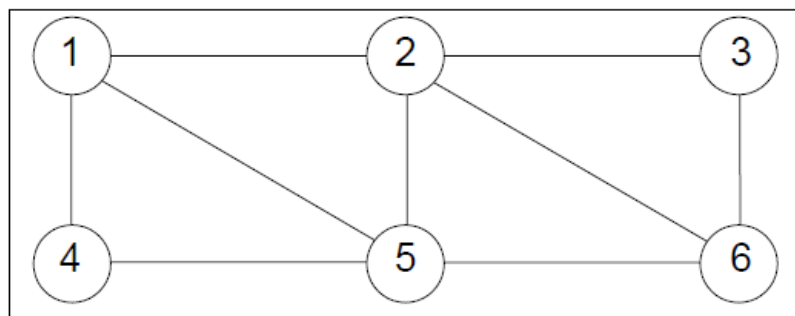
O “Problema do Carteiro Chinês” é bem parecido com o Problema das Sete Pontes. Consiste em encontrar uma rota para um carteiro com as seguintes restrições: (1) todas as ruas devem ser visitadas; (2) o caminho deve ser o mínimo. A principal diferença entre os

dois problemas abordados é que ao carteiro é permitido passar por um caminho já utilizado anteriormente, e ao fim do percurso ele deve estar no ponto de partida.

Para resolução de problemas ligados a logística urbana, o problema do Carteiro Chinês vem ganhando a atenção dos pesquisadores. São várias as classificações dos tipos de problemas de percurso em arcos. Segundo Eiselt *et al.*, *aput* Moro (2014), as principais abordagens ao problema tratado neste estudo de caso são:

1. Problema do Carteiro Chinês Não Direcionado (PCCND) - onde se deseja gerar um percurso de custo mínimo sobre um grafo $G = (V, E)$, valorado e conexo, a partir de um vértice $v_0 \in V$ - ilustrado na Figura 3.7. Exemplo: Cidades somente com ruas de mão dupla.

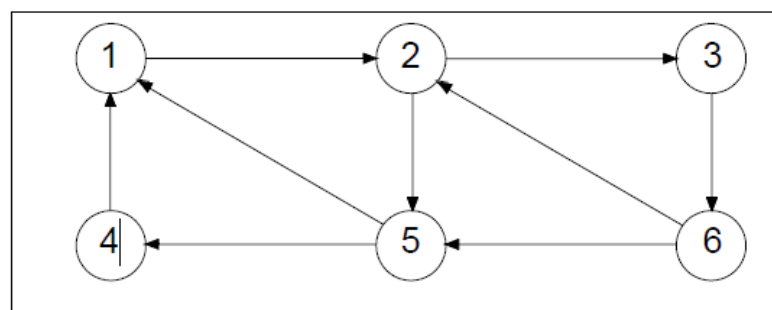
Figura 3.7 - Grafo ou Rede Não Orientada



Fonte: Brito (2006)

2. Problema do Carteiro Chinês Direcionado (PCCD) - onde se deseja gerar um percurso de custo mínimo sobre um grafo $G = (V, A)$, valorado e fortemente conexo (f-conexo), a partir de um vértice $v_0 \in V$ - ilustrado na Figura 3.8. Exemplo: Cidades somente com ruas de mão única.

Figura 3.8 - Grafo ou Rede Orientada

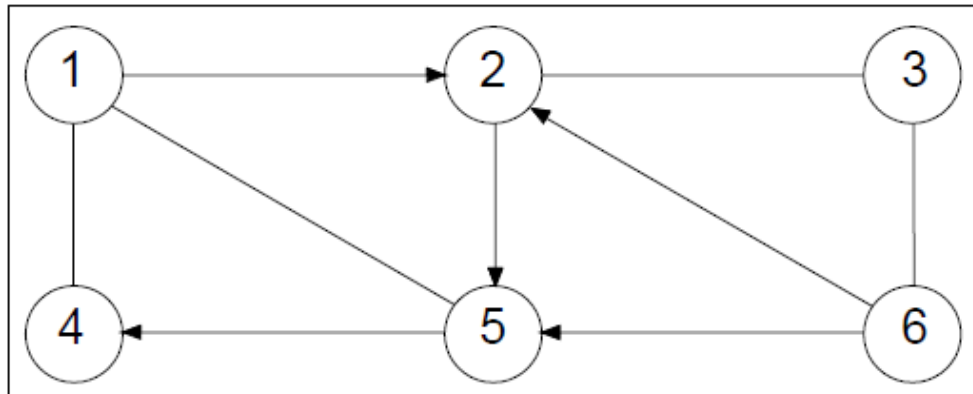


Fonte: Brito (2006)

3. Problema do Carteiro Chinês Misto (PCCM), onde se deseja gerar um percurso de custo mínimo sobre um grafo $G = (V, E, A)$, valorado e fortemente conexo (fconexo),

a partir de um vértice $v_0 \in V$ (Figura 3.9). Exemplo: Cidades com ruas de mão dupla e mão única.

Figura 3.9 - Grafo ou Rede Mista



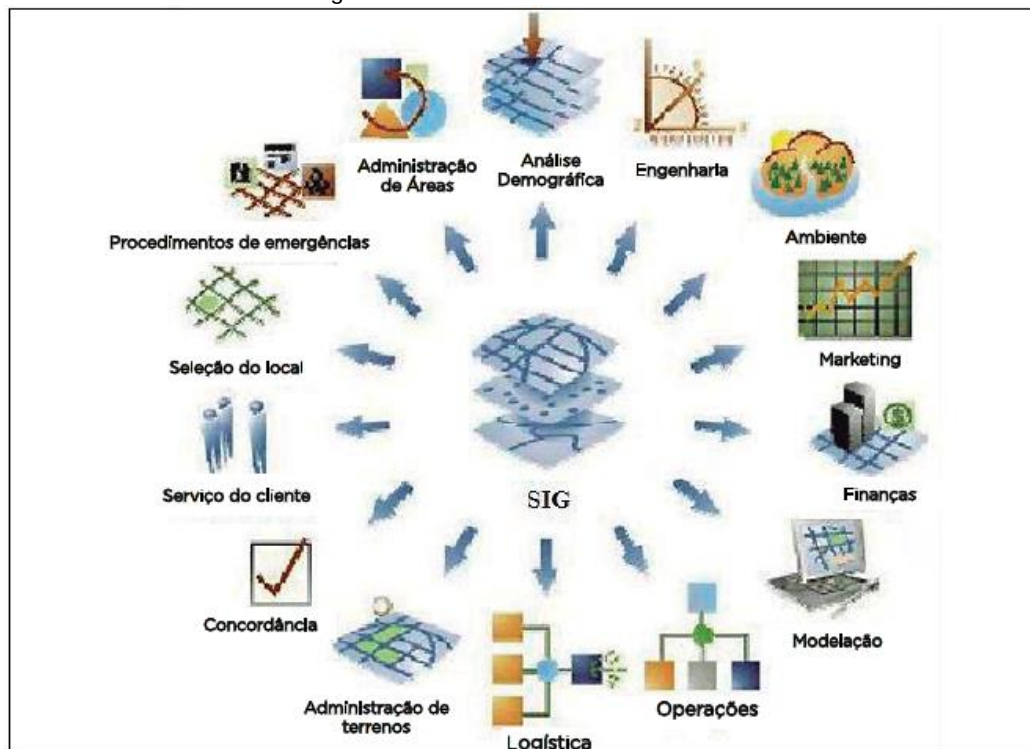
Fonte: Brito (2006)

Basicamente, os problemas resumem-se em transformar o grafo original em um grafo euleriano para cada uma das versões do carteiro chinês. Segundo Moro (2014), a aplicação do algoritmo obtido através do resultado do algoritmo do Carteiro Chinês, utilizado para encontrar rotas de cobertura de resíduos sólidos recicláveis, forneceu uma solução satisfatória para o problema de geração dessas rotas, obtendo um ganho de aproximadamente 23,45%, 33,12% e 40,13% para os serviços prestados na segunda, terça e quarta, respectivamente.

3.2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Os softwares de roteirização são Sistemas de Informações Geográficas, SIG's, que segundo Smith e Scherman (1981) *apud* Pinto (2009), é um conjunto de funções automatizadas capazes de fornecer acesso e manipulação de informações georreferenciadas. Partindo do princípio que todas as atividades humanas são desenvolvidas em alguma localidade geográfica, percebe-se a importância de serem geograficamente referenciadas. Diante do contexto nota-se que são muitas as possibilidades de aplicações de SIG para manipular, sintetizar, pesquisar, editar e visualizar informações especiais, geralmente armazenadas em bases de dados computacionais, sobre o que ocorre na superfície da Terra. A Figura 3.10 apresenta a esquematização do funcionamento de um SIG.

Figura 3.10 - Funcionamento de um SIG



Fonte: Branco e Gigioli (2014)

Segundo 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. Os SIG's – T é uma derivação dos SIG's voltadas para a área de transportes, criando assim softwares com ferramentas especiais para atuar com os desafios de transporte e logística.

Lima (2003) destaca, desde a década de 1990 tem havido um vasto e crescente interesse em SIG no mundo acadêmico, nas empresas de software e entre profissionais liberais, como consequência do aumento da capacidade de processamento, da redução dos custos dos microcomputadores e do aumento da disponibilidade de bases de dados cartográficos digitais.

Segundo Augusto e Brasileiro (2007), SIG-T (Sistema de Informações Geográficas aplicadas aos Transportes) é um Sistema de Informações Geográficas desenvolvidas especificamente para uso de profissionais de transportes para armazenar, mostrar, gerenciar e analisar dados de transportes. Um SIG-T pode combinar vantagens de um SIG comum com modelos aplicados aos transportes em uma mesma plataforma integrada, podendo proporcionar

recursos não encontrados em outros pacotes. Um SIG-T pode ser usado para todos os modos de transportes, em qualquer escala ou nível de detalhamento. Dentre os SIG-T's mais conhecidos pode-se citar o TransCAD e o UfosNet6.

3.3 SOFTWARES UTILIZADOS EM SIG

A seguir é apresentado um breve resumo dos principais SIG's utilizados:

- Um dos mais antigos softwares SIG é o GRASS (Sistema de Suporte à Análise de Recursos Geográficos) originalmente desenvolvido por Laboratórios de Pesquisa de Engenharia de Construção do Exército dos EUA como uma ferramenta para o gerenciamento de terras e planejamento ambiental, e atualmente mantidos como FOSS (software de código livre e aberto). O GRASS é orientado para análise raster, incluindo ferramentas para modelagem espacial, visualização, gerenciamento e processamento de imagens de satélite. A análise dos dados vetoriais melhorou nas últimas versões, pois está em constante desenvolvimento envolvendo um grande número de agências federais dos EUA, universidades e empresas privadas, Sillero e Tarroso (2010).
- ArcGIS desenvolvido pela ESRI (Environmental Systems Research Institute), este software se destaca como um dos mais populares principalmente no domínio proprietário. Apesar de não ser um software livre, o ArcGIS tem sido utilizado em trabalhos importantes em diversas áreas. ESRI tem produzido software de SIG desde o início dos anos 80 sendo o ArcGIS o seu pacote de SIG mais desenvolvido e o mais recente. Este foi projetado para fornecer um grande conjunto de procedimentos de geoprocessamento, suportar vários formatos de dados e oferecer múltiplas operações possíveis que podem ser aplicadas a dados espaciais, Bolstad (2016) *apud* Miguel e Figueiredo (2017).
- QGIS trata-se de um software livre que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados. Ele é capaz de ler um grande número de formatos de arquivos e tem muitas funções para análise espacial com o plug-in GRASS e boas capacidades gráficas de produção, incluindo ferramentas para construir escalas, legendas e trabalha com vários mapas. Segundo Sillero e Tarroso (2010) suas versões incluem muitas ferramentas vetoriais, para análise, gestão, pesquisa e geoprocessamento, além de possuir ferramenta para importar scripts para adicionar novas funções de vários repositórios, estes recursos e especialmente a interface amigável, amplia o uso potencial deste software.

- O SPRING é um software SIG legitimamente brasileiro é o (sistema de processamento de informações georreferenciadas), desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE, este programa conta com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais. Segundo Lisboa *et al* (1999), Spring utiliza um modelo de dados orientado a objetos de alto nível, ou seja, mais próximo do usuário do que a maioria dos SIG's disponíveis, este modelo introduz elementos próprios de um software de SIG, pode-se citar os conceitos de plano de informação e mapa de geo-objetos.
- O TransCAD se destaca entre os Sistemas de Informação Geográfica aplicado aos transportes, projetado especificamente para o planejamento, gerenciamento, operação e análise das características dos sistemas de transportes. Para Cairns (1998) apud Augusto e Brasileiro (2007) o software TransCAD possibilita a definição de redes, viagens, matrizes e tem uma série de algoritmos desenvolvidos para transporte, fornecendo uma funcionalidade adicional às tradicionais ferramentas disponíveis em um SIG. Ele também possibilita ao usuário comandos relativamente simples e uma linguagem de fácil compreensão.

3.4 ESTUDOS APLICANDO SIG NA COLETA DE RSU

Apaydin e Gonullu, desenvolveram um estudo de otimização para a coleta de resíduos sólidos do município de Trabzon, na Turquia. Os dados utilizados foram referentes a rede rodoviária, a demografia e a produção de resíduos sólidos. As rotas foram geradas por um SIG, onde foram cadastrados 777 pontos da cidade, que resultou em economias de aproximadamente 24,7% na distância percorrida e 44,3% (Apaydin e Gonullu (2007) *apud* BATTISTELA, 2014)

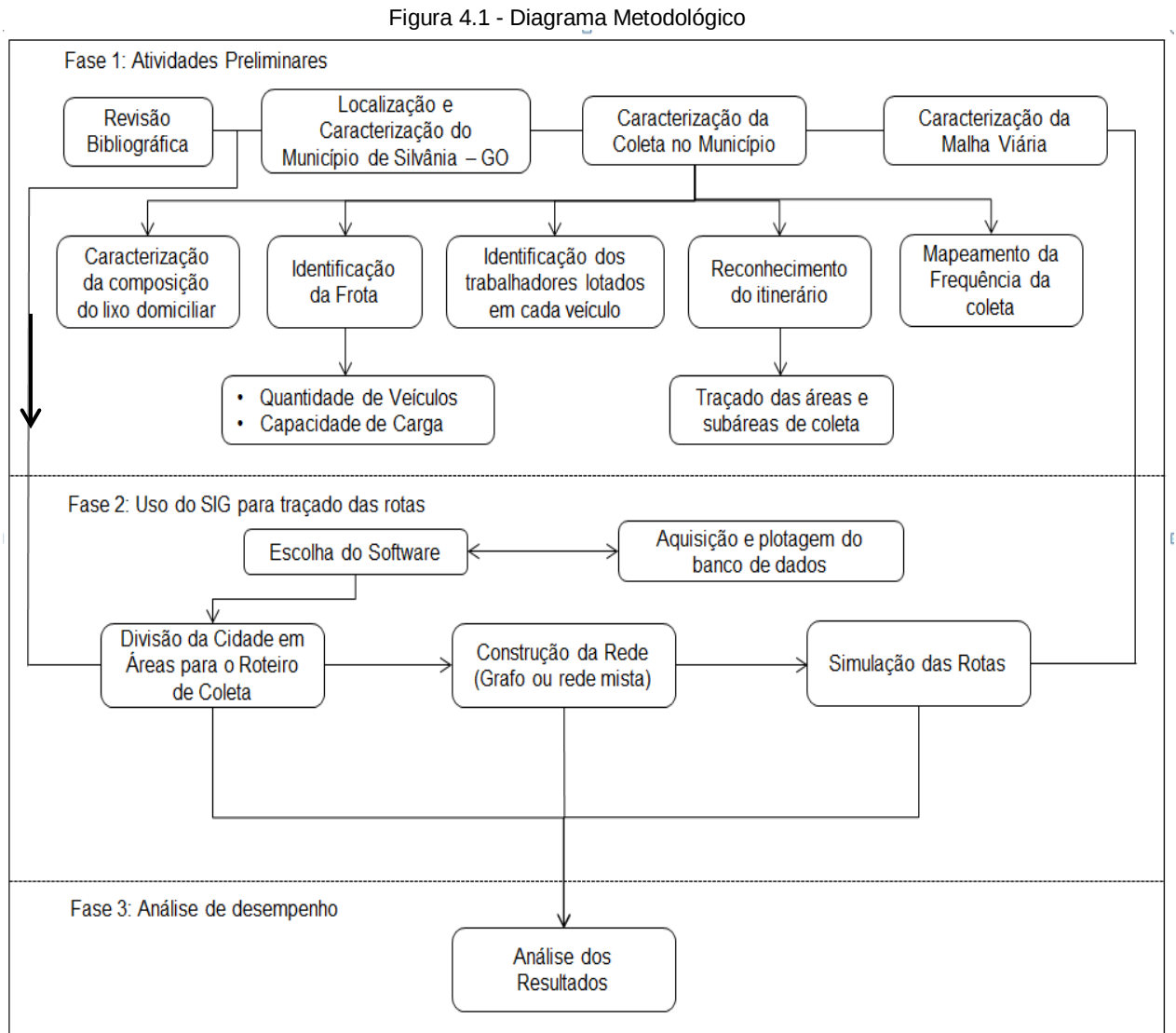
Lacerda (2003), utilizou como ferramenta de roteirização de veículos de coleta de resíduos sólidos, para estudo de caso na cidade de Ilha Solteira – SP, o software TransCAD, que é um SIG que permite desenvolver rotas utilizando algoritmos que incluem o procedimento de roteirização em arcos. Obteve com esta aplicação uma redução percentual de até 41% em termo de distância percorrida e de 68% no tempo total do percurso, em relação à rota atual.

Pascoal Jr. E Oliveira Filho (2010), utilizaram SIG em uma avaliação do roteiro de coleta de resíduos sólidos na região central da cidade de Irati, PR. O software nesta avaliação foi o brasileiro Spring (v.5.1.3), obtendo nos resultados uma redução de até 30,84% de distância em relação à rota existente.

Augusto e Brasileiro (2007) usaram SIG para uma análise do transporte e disposição final de resíduos sólidos comerciais na cidade de Ilha Solteira-SP. A simulação, foi feita utilizando o SIG-T TransCAD onde adotou-se um algoritmo de problemas de roteirização com janela de tempo, determinando os seguintes cenários: (1) considerando a local de disposição final atual; (2) considerando o melhor local definido pelo método de Orsati (2006); (3) considerando os outros locais definidos pelo método de Orsati (2006). No final descobriu se que a melhor rota é a de destino final atual (1) pois apresenta 26,58% de economia na distância de percurso em relação à rota empírica e 39,32% do tempo de viagem em relação à rota empírica.

4. DESCRIÇÃO DAS FASES METODOLÓGICAS UTILIZADAS

A metodologia aplicada no estudo de caso no município de Silvânia, está dividida em três fases, conforme mostra a Figura 4.1.



Fonte: Elaborado pelos autores

4.1 FASE 1: ATIVIDADES PRELIMINARES

As atividades preliminares são aquelas que constituem o conjunto de informações necessárias ao início da execução da pesquisa. É esta fase que caracteriza através de embasamento teórico, toda prática a ser executada. Foi nesta etapa que escolheu o município para estudo, identificou suas características de coleta de resíduos sólidos e sua malha viária.

- **Revisão Bibliográfica**

A primeira etapa da Fase 1 apresenta uma pesquisa bibliográfica com conceitos pertinentes ao assunto e relata resultados de outros estudos sobre o tema, com a finalidade de validar a importância da questão tratada.

- **Localização e caracterização do Município de Silvânia**

Para a escolha do município ponderou-se fatores que possibilitariam o estudo, considerando localização próxima e interesse da gestão em contribuir com o trabalho. A localização será visualizada em mapa para melhor compreensão do espaço estudado.

- **Caracterização da Coleta no Município**

Para a caracterização dos serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares foi necessário fazer um levantamento de como este trabalho é realizado no município, e para isso o apoio dos responsáveis pelos serviços e pelas equipes que o realizam é fundamental.

Essas informações foram buscadas inicialmente na Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos. A primeira missão foi identificar a situação atual da coleta de lixo da cidade por meio de reuniões com as equipes de trabalho – motoristas e garis.

- **Caracterização da composição do lixo domiciliar:**

- a) Identificar a classe quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente de cada região;
 - b) Classificar regiões com predominância de lixo doméstico e residencial (classificação quanto a natureza ou origem);
 - c) Indicar os grandes geradores de resíduos comerciais;
 - d) Classificar os RSU por suas características físicas:
 - *Geração per capita:* para cidades com uma população até 30 mil habitantes, segundo a Tabela 4, estima-se uma geração de resíduos de 0,5 kg por habitante por dia. Silvânia tem uma

população de aproximadamente, 20.573 pessoas, logo enquadra neste parâmetro;

- Teor de umidade: será adotado valor estimado de 50% em relação ao peso;
- Compressividade: redução à 1/3 do volume do lixo quando submetido à compactação.
- **Identificação da frota:** caracterizar os veículos utilizados no serviço de coleta.
- **Identificação dos trabalhadores lotados em cada veículo:** levantar o quantitativo das equipes e turnos de trabalho;
- **Reconhecimento do itinerário:** sobre um rascunho da planta da cidade, seguindo a orientação do responsável pela gestão, identificaram-se as rotas e localizou-se os bolsões de coleta;
- **Mapeamento da frequência da coleta:** identificar a regularidade da coleta em cada região.

- **Caracterização da malha viária**

Para a caracterização da malha viária utilizou-se a plataforma do *OpenStreetMap* – OSM - distribuindo dentro dos arruamentos os bolsões usados por cada veículo em sua respectiva rota, os horários de trabalho (saída/chegada) e quilometragens. De posse desses levantamentos, foi possível um primeiro mapeamento da situação atual e a elaboração de um *layout* da cidade com os setores de coleta. Esse cenário servirá para posterior comparação entre a situação de rota atual e a roteirização realizada através do SIG. O novo mapeamento será feito com o uso do ArcGIS, um software multiplataforma de sistema de informação geográfica que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados.

4.2 FASE 2: USO DO SIG PARA TRAÇADO DAS ROTAS

- **Escolha do software**

Os softwares de SIG utilizados foram o Qgis, software livre, e o ArcGIS, que apesar de ser uma plataforma paga, o Instituto Federal de Goiás – Campus Goiânia possui a licença para utilizá-lo. Ele também atende as necessidades por ser robusto em ferramentas para exibição dos dados e informações geográficas como: Gerenciamento do banco de dados geográficos; Análise espacial; Topologia; Processamento de imagens; Cruzamento de

dados; Visualização/plotagem; etc. Todas essas e demais funções foram fundamentais para a análise e traçado da nova rota que foi construída.

- **Aquisição e plotagem do banco de dados**

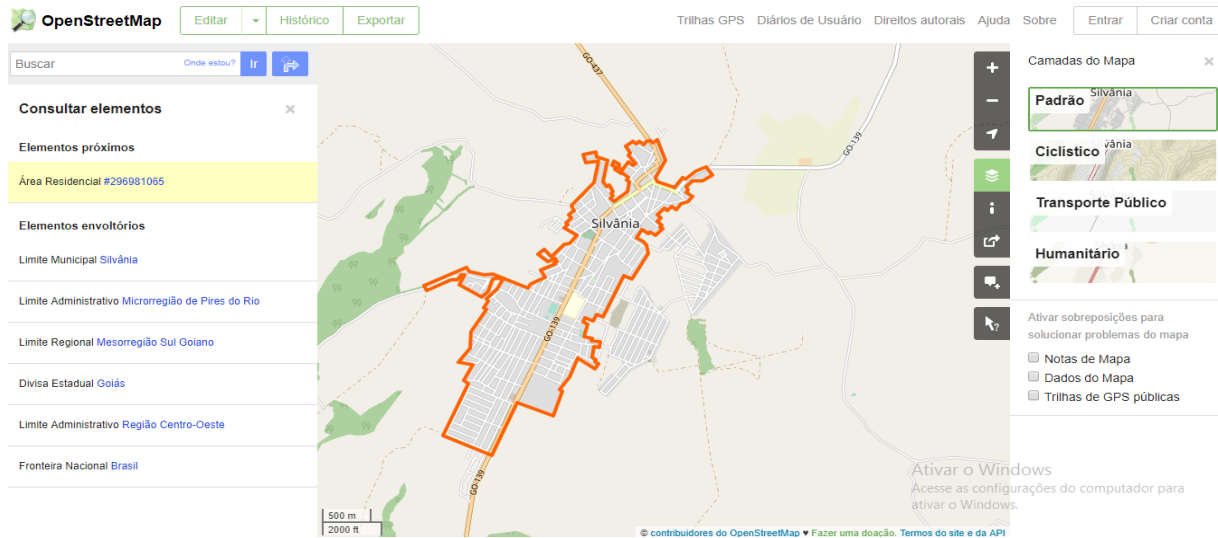
Esta parte corresponde a organização da base de dados e todos os seus componentes espacial ou não espacial. Os dados utilizados foram organizados em um banco de dados e o armazenamento foi no formato *shapefile*, que é formado por um conjunto de arquivos básicos: shp (geometria), .shx (arquivo de vínculo entre geometria e tabela de atributos), .dbf (tabela de atributos).

Existem três principais opções de organização de dados geográficos, sendo elas:

- **Fileserver** – organizada em pastas e arquivos (Ex.: os dados *shapefile*);
- **Bando de Dados** – baseado em arquitetura dual ou integrada com banco de dados geográficos (Ex.: PostgreSQL+PostGIS, Access, SQLite, Geodatabase (ESRI), Access);
- **Web** – Quando é possível acessar padrão de serviços OGC (Open Geospatial Consortium) (Ex.: WMS, WFS e WCS);

Nesse trabalho foi usado o banco de dados em arquitetura integrada. Para obter a malha viária do município em estudo foi usada a plataforma de mapeamento colaborativo OSM, uma plataforma de VGI (Volunteer Geographic Information), que trabalha com informações geográficas coletadas e compartilhadas voluntariamente pelo público geral. Apesar de ser um VGI a aplicabilidade do OSM se justifica por ter vasta aplicabilidade em SIG, uma vez que seus dados têm sido facilmente acessados em formatos compatíveis com softwares SIG e extensões, além disso há cidades onde o mapeamento do OSM está mais detalhado ou atualizado que o próprio Google Maps. A Figura 4.2 exibe a delimitação da área urbana do município de Silvânia no OSM.

Figura 4.2 - Visualização Município de Silvânia



Fonte: Site do Open Street Map (2019)

A plotagem do *shapefile* da malha viária da cidade de Silvânia foi georreferenciada no datum SIRGAS 2000, por ser esse o datum oficial brasileiro. Isso nada mais é que colocar os dados em um sistema de coordenadas. As uniões das informações não espaciais foram feitas nas planilhas adquiridas com os *shapefiles*, conseguindo assim especializar as informações constantes nas mesmas. Foi necessário que o campo-chave (código da planilha) esteja no mesmo formato em ambos os arquivos, desta forma, o código da nova tabela foi convertido para texto de modo a compatibilizar com o formato do respectivo campo da camada. Informações como nomeação das vias; rede viária atualizada, sentido de fluxo das vias; localização da garagem e do local de disposição final; deverão constar no *shapefile*, cabendo mudanças e modificações caso não estejam totalmente atualizados.

- **Divisão da cidade em áreas para o roteiro de Coleta**

Os atributos e base de dados foram divididos em setores censitários de acordo com a produção de lixo. Desta forma o roteiro gerado ficou mais dinâmico com uma delimitação e determinação da quantidade de resíduo gerado em cada setor de coleta.

- **Construção da rede grafa ou mista**

A construção da rede grafa foi baseada no Problema de Roteirização em Arcos (Arc Routing Problem – ARP), também conhecido como Problema do Carteiro Chinês (PCC) - mencionado no capítulo 3 desse trabalho - já que a coleta domiciliar e os serviços de varrição são serviços característicos desse problema, uma vez que o veículo coletor deverá percorrer todas as ruas da cidade (arcos).

- **Simulação das rotas**

As simulações foram feitas utilizando ferramentas e extensões do SIG ArcGIS, e com o algoritmo que resolva o problema de roteirização proposto, com o uso da janela de distância para se determinar o caminho ótimo para os possíveis cenários. A apresentação dessas simulações foi feita em mapas com traçados partindo de uma origem e chegando a um destino.

4.3 FASE 3: ANÁLISE DO DESEMPENHO

- **Análise dos resultados**

A fase final deste estudo compreende a análise dos resultados entre os cenários levantados na Fase 1 – “Reconhecimento do Itinerário” – e a Fase 2 – “Simulação das Rotas”, possibilitando um comparativo entre ambos. Os resultados foram gerados pelo software através de simulações e onde se gerou o traçado das melhores rotas (menores distâncias totais percorridas).

De posse das informações obtidas na saída do processo, foi possível uma organização da atividade de coleta com ganhos na operação melhorando a eficiência, ou seja, a execução poderá ser realizada gastando menos recursos. Segundo Ferrari (1997), a utilização dos SIG's contribui para a administração nos níveis operacional, gerencial e estratégico.

- Operacional: o uso do SIG beneficia as atividades a nível operacional porque melhora a eficiência, reduzindo os custos;
- Gerencial: de posse de relatórios com informações agrupadas, é possível uma visualização dos gargalos da operação, o que facilita a tomada de decisões e uma melhor administração do processo como um todo;
- Estratégico: os benefícios dizem respeito à boa imagem, credibilidade, bom relacionamento da prefeitura com a comunidade, poder legislativo e outras esferas do governo, o que leva ao aumento da receita através do mapeamento e gerenciamento da arrecadação.

5. ESTUDO DE CASO - CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SILVÂNIA

O município escolhido para estudo de caso foi Silvânia, uma cidade localizada no estado de Goiás. A motivação pelo município foi o fato de uma parceria de projeto de extensão firmada entre o IFG Campus Goiânia e a prefeitura da referida cidade. O prefeito mostrou interesse em contribuir com o trabalho, fornecendo as informações necessárias para as análises propostas. Ressalta-se que sem o conhecimento dos dados não seria possível o desenvolvimento deste estudo.

5.1 ASPECTOS HISTÓRICOS, DEMOGRÁFICOS E GEOGRÁFICOS

Por volta do ano de 1774, na região hoje ocupada pela cidade de Silvânia, foi encontrada lavras de ouro que atraiu pessoas de outras regiões do país com o intuito de exploração da riqueza recém-descoberta. O vilarejo era conhecido como Arraial do Bonfim, em homenagem a uma imagem do Nosso Senhor do Bonfim, trazida da Bahia por aventureiros que foram tentar a sorte na província. Em 1782 foi construída a primeira igreja que ganhou um altar para o santo. O arraial foi elevado à categoria de vila em 1833 e a distrito em 1836. Em 31 de dezembro de 1943, a designação de Bonfim foi substituída por Silvânia em homenagem à família Silva, de Vicente Miguel da Silva e seus descendentes, que ocupavam cargos de grande prestígio na cidade. O município só foi instalado em 5 de outubro de 1857.

Do município de Silvânia, foram desmembrados alguns outros: Vianópolis, Leopoldo de Bulhões, São Miguel do Passa Quatro e Gameleira de Goiás. Outros fatores contribuíram para o desenvolvimento da futura Silvânia. Além do ouro, a agricultura também se firmava como uma das principais fontes de receita. No século XX, o município tornou-se polo de ensino com a construção do Ginásio Diocesano Anchieta e do Colégio Nossa Senhora Maria Auxiliadora.

A Figura 5.1 mostra uma vista aérea da cidade. Percebe-se um centro urbano com áreas verdes que melhoram o conforto térmico, tornando o lugar atrativo para as pessoas. As árvores amenizam o calor solar, tornando o clima mais agradável e assim viabilizando o turismo na região.

Figura 5.1 - Vista Aérea de Silvânia - GO



Fonte: Jornal Diário da Manhã (2018)

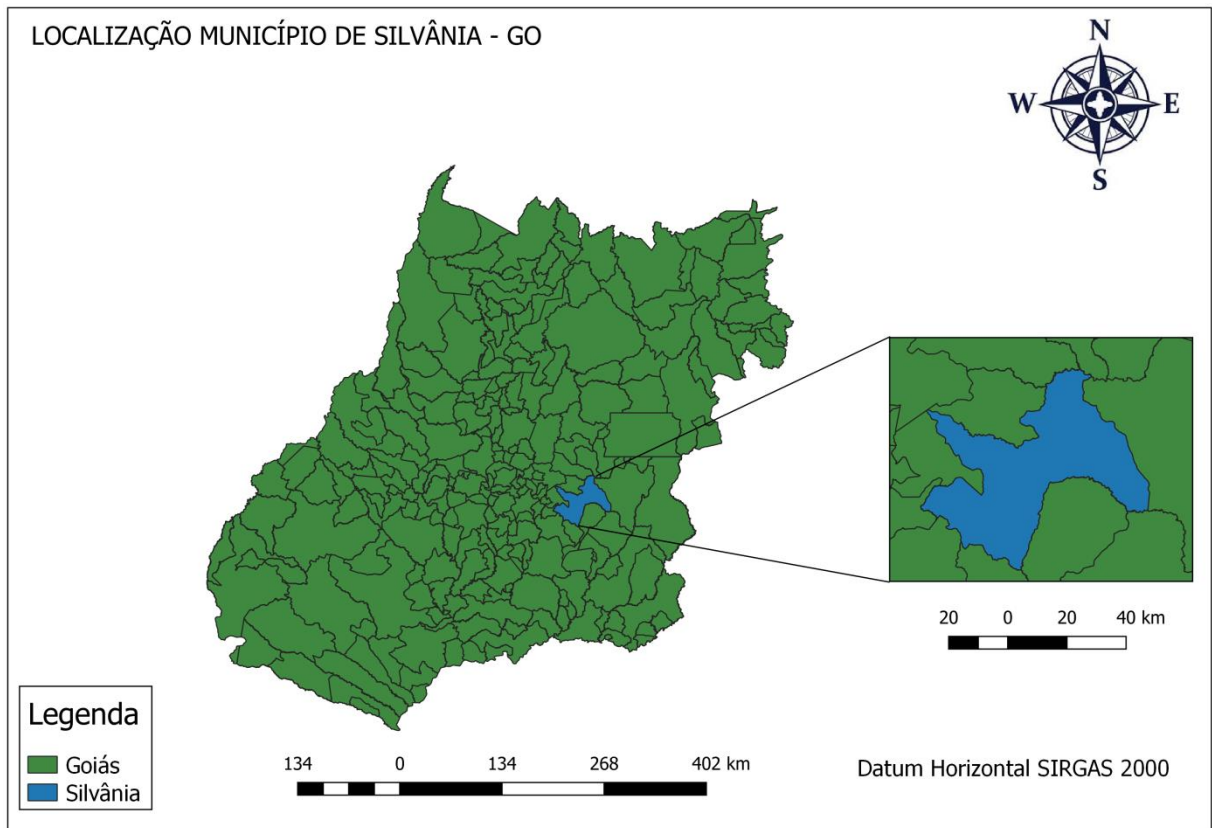
De acordo com o Guia do Turismo Brasil (2019), Silvânia possui alguns elementos que atraem os turistas, como:

- Igreja do Senhor do Bonfim - com mais de duzentos anos;
- Regiões marcadas pela exploração do ouro, com crateras originadas de tal exploração;
- Igreja de São Sebastião, que fica em um bairro que leva o mesmo nome;
- O Cristo, no trevo de entrada;
- A estação do trem-de-ferro Cuturama – projeto de funcionamento de um trem turístico que almeja movimentar toda a região, oferecendo aos visitantes uma agradável viagem bucólica pela região.

Em ocasião do natal, a Praça do Rosário ganha uma decoração natalina especial e passa a ser palco de atrações culturais que acontecem durante todo mês de dezembro. Todas essas atratividades aumentam o número de pessoas na cidade, e, conseqüentemente a geração de resíduos sólidos, o que solicita um serviço de coleta eficaz. É natural que haja o surgimento espontâneo de pontos de acumulação de lixo, e a utilização de rotas bem elaboradas viabilizam a continuidade de um trabalho eficiente.

O município de Silvânia está localizado na Mesorregião do Sul Goiano (Figura 5.2), situa-se a 85 km de Goiânia, capital do estado, e há 174 km de Brasília (GoogleMaps, 2019). Sua área de ocupação é de 2.349,4 km² (IBGE, 2019).

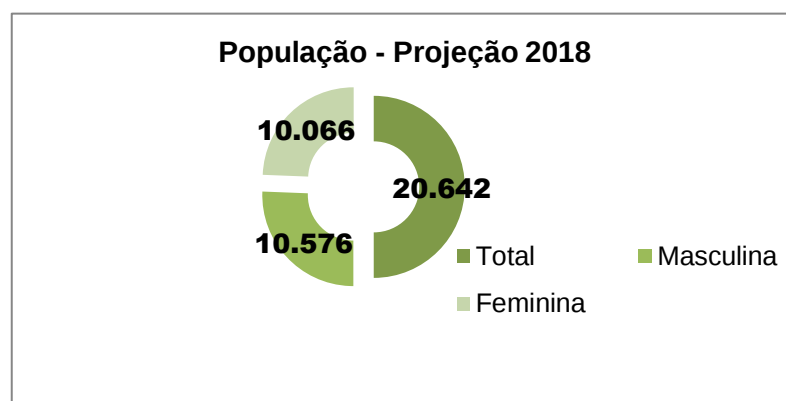
Figura 5.2 - Localização do Município de Silvânia - GO



Fonte: Elaborado pelos autores com base de dados extraídas de SIEG (2018)

A população estimada para 2018 de 20.642 habitantes (IMB, 2018), resultando em uma densidade demográfica de 8,8 hab./km² (Figura 5.3).

Figura 5.3 - População da Cidade de Silvânia



Fonte: Elaborado pelos autores com base em dados do IMB (2018)

5.2 COLETA E TRANSPORTE DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A coleta e o manejo dos resíduos sólidos da cidade de Silvânia são de responsabilidade da Secretaria Municipal de Infraestrutura. O sistema de limpeza urbana deve seguir um modelo de gestão que seja capaz de promover sustentabilidade econômica nas operações. Em todos os segmentos operacionais do sistema, deverão ser escolhidas alternativas que atendam simultaneamente as duas condições fundamentais:

- Sejam mais econômicas;
- Tecnicamente corretas para o ambiente e para saúde da população (Zveibil, 2001).

Todo o lixo produzido na cidade é coletado através do serviço oferecido pela prefeitura do município. Para tal, dispõe-se de uma frota de dois caminhões compactadores, com capacidade de carga de 5 toneladas, veículo ilustrado na Figura 5.4.

Figura 5.4 - Caminhão Compactador de Coleta de RSU



Fonte: Autores (2019)

Conforme descrito no Capítulo 2, bons veículos de coleta devem possuir algumas características que tornam o caminhão adequado para o serviço. A Tabela 5.1 apresenta o perfil dessa comparação em relação aos veículos de Silvânia.

Tabela 5.1 - Características Dos Veículos de Coleta de Silvânia

CARACTERÍSTICA	ATENDE	NÃO ATENDE
Derramamento do resíduo ou chorume na via pública	X	
Compactação 3 m ³ x 1 m ³	X	
Altura de carregamento na linha da cintura dos garis	X	
Permite esvaziamento simultâneo de pelo menos 2 recipientes por vez	X	
Carregamento traseiro	X	
Descarga rápida do resíduo no destino (máximo 3 minutos)	X	
Capacidade adequada de manobra e de vencer aclives	X	
Capacidade adequada para o menor número de viagens	X	

Fonte: Elaborado pelos autores segundo dados obtidos *in loco* (2019)

A coleta é efetuada em todos os imóveis, comerciais e residenciais, em dias e horários determinados conforme uma planilha estabelecida pela administração competente. É feito um rodízio entre bairros, sendo o centro atendido todos os dias da semana, com exceção de domingo, dia em que não há coleta. A regularidade se faz importante porque evita tempo excessivo de permanência do lixo em logradouro público, e habitua a população a colaborar com a limpeza, acondicionando seu lixo adequadamente em dias e horários conhecidos, beneficiando a higiene ambiental, saúde pública e a limpeza.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE SILVÂNIA - GO

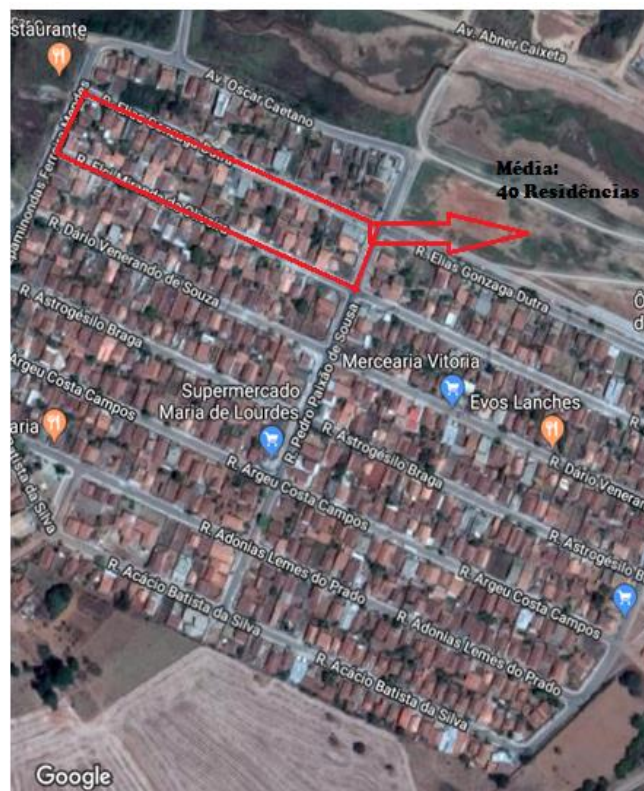
Segundo Vilhena (2002), o gerenciamento de resíduos sólidos deve começar pelo conhecimento do lixo gerado no município, já que são vários os fatores que influenciam na composição: sazonalidade, aspectos climáticos, regionais, temporais e futuras flutuações da economia. É necessário que se faça amostragens sistemáticas, porque esse acompanhamento gera subsídios para o planejamento de gestão com previsão da expansão dos serviços de coleta regular, a viabilidade de uma coleta regular e de compostagem. No entanto, não há no município de Silvânia a pesagem dos resíduos coletados, sendo os mesmos medidos pela capacidade de carga do caminhão e o número de vezes que o mesmo é descarregado em sua disposição final.

Na ausência de dados mais precisos, a geração *per capita* deve ser estimada. A média será considerada em relação aos resíduos sólidos urbanos (domiciliar + público + comercial + serviços de saúde), que são os coletados pelo serviço público, ficando fora deste cálculo os entulhos de obras civis. Uma cidade com a população de até 30 mil habitantes, deve ser considerado uma produção de 0,5 kg/dia, de acordo com Vilhena (2018). Segundo Novaes (2007), os bolsões com restrições da capacidade útil do veículo devem ser estabelecidos pelo produto entre clientes visitados e a quantidade (quilos) de mercadoria em cada visita. Sendo n o número de clientes visitados em um roteiro, o carregamento total do veículo será:

$$Q = n \times q$$

Para o cálculo neste trabalho levou-se em conta o número de habitantes divulgados pelo IBGE (2019) e a média de domicílios. Essa média foi obtida através de imagem visual via satélite, levantada no *Google Maps* (2019), pois não existe informação sobre o número de domicílios na cidade em nenhuma fonte de pesquisa disponível nos órgãos de referência. Na Figura 5.5 tem-se uma amostra de uma quadra investigada para a exemplificação do método utilizado. Obteve-se como resultado desse levantamento um número médio de 40 domicílios por quadra.

Figura 5.5 - Imagem Satélite Amostra de Quadra em Silvânia



Fonte: Google Maps

A partir do número médio de logradouros, a produção de lixo por quadra foi estabelecida com a seguinte equação:

$$\underbrace{\hspace{10em}}_n \quad \underbrace{\hspace{2em}}_q$$

(40 casas X 4 pessoas por casa (média))x 0,5 (qt. estimada de lixo produzido/dia)

$$= 80 \text{ kg.lixo/quadra}$$

Para o cálculo da quantidade de quadras coletadas com a restrição da capacidade útil do veículo (capacidade 5 toneladas), utilizou-se a equação:

$$\text{Quantidade de quadras} = \frac{\text{capacidade do veículo}}{\text{média lixo por quadra}}$$

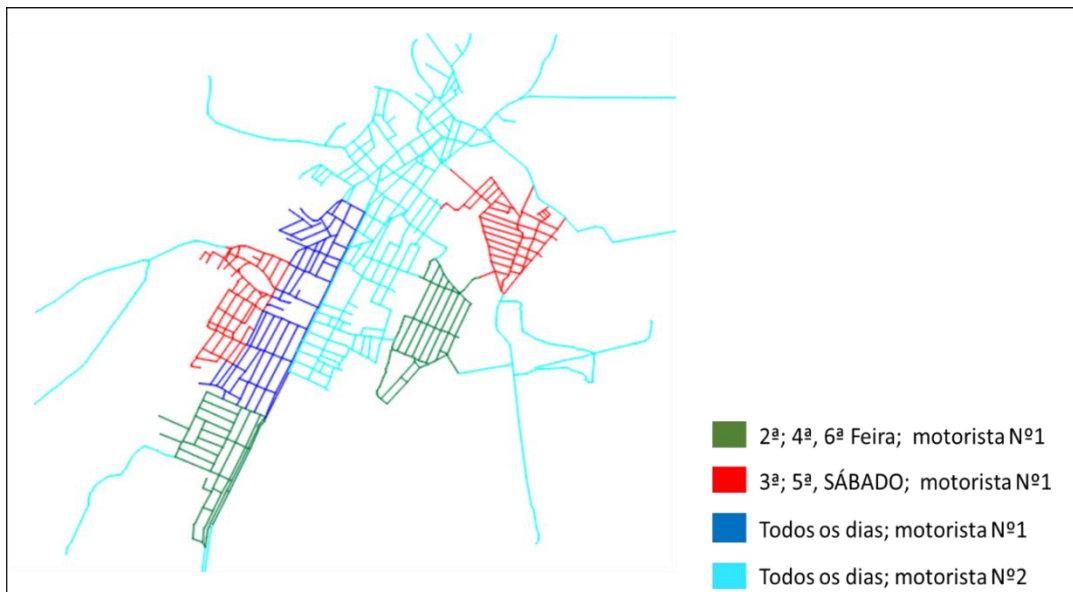
$$\text{Quantidade de quadras} = \frac{5000kg}{80kg} = 62,5 \text{ quadras.}$$

Com este valor pôde-se estimar a quantidade de resíduos sólidos gerados, e a partir daí distribuir os conjuntos em bolsões de coleta, ficando estimada uma média de 60 quadras por bolsão.

5.3.1 SITUAÇÃO ATUAL DA COLETA DO MUNICÍPIO

A cidade de Silvânia é dividida atualmente em três bolsões de coleta (divisão essa realizada empiricamente pelos motoristas da cidade). Dois desses bolsões são atendidos por um mesmo veículo - cores vermelho, verde e azul escuro (motorista nº1) conforme apresenta a Figura 5.6. O último bolsão é atendido pelo outro veículo (motorista nº 2) - área azul claro.

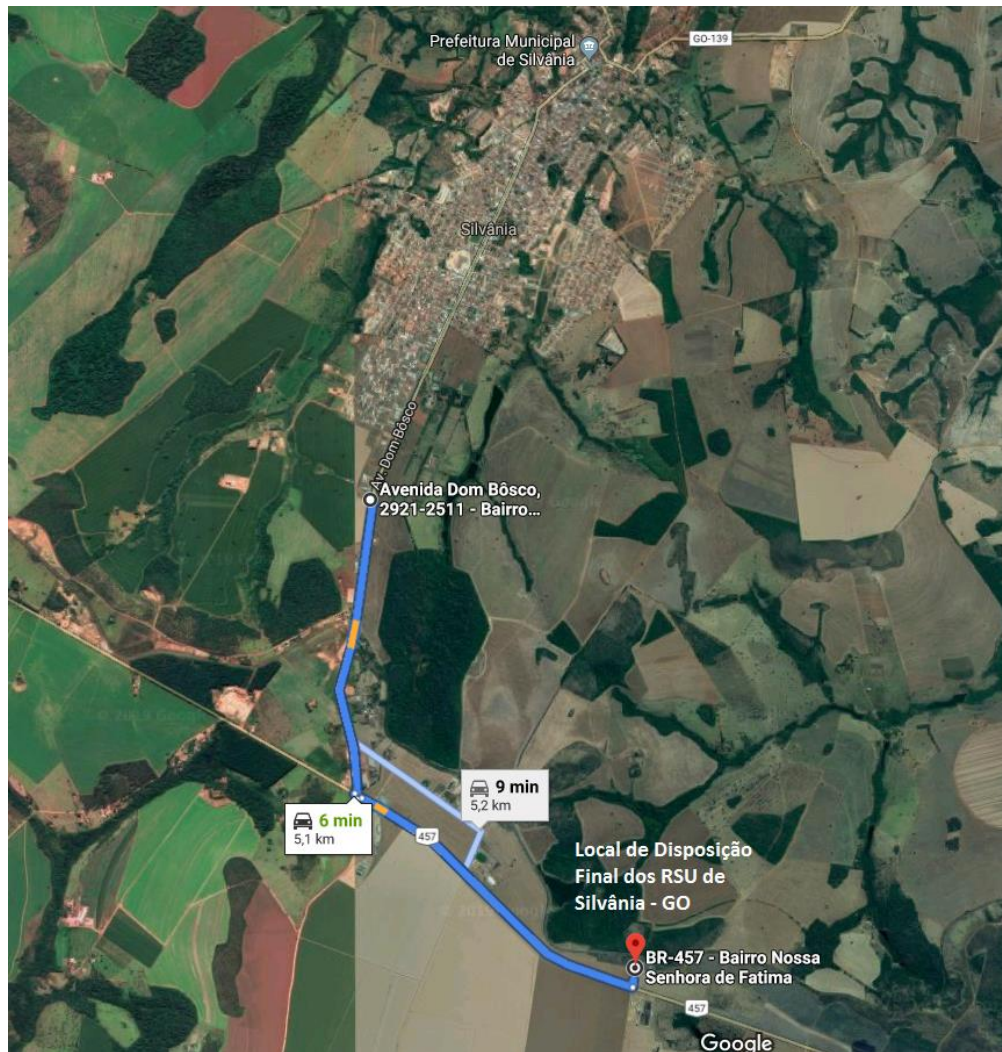
Figura 5.6 - Bolsões de Coleta Atual - Silvânia - GO



Fonte: Autores (2019)

O serviço de coleta é realizado em um único turno, partindo da garagem às quatro horas da manhã e retornando por volta do meio dia, de segunda a sábado, após ter descarregado o veículo no lixão da cidade, sendo a guarnição composta de três garis atrás e um motorista conduzindo o veículo, conforme informações do motorista responsável pelo serviço. Para cada setor de coleta é proposto um itinerário a ser cumprido pelo veículo, sendo este definido pelo próprio motorista, baseado em distância e capacidade útil de carga do caminhão e no seu conhecimento geográfico da região. Os itinerários são sempre os mesmos de cada equipe nos seus respectivos dias da semana. O descarte final dos resíduos sólidos urbanos é feito em um local apropriado que está a 5,3km a partir do ponto final de coleta na Avenida Dom Bosco, conforme mostra a Figura 5.7.

Figura 5.7 - Localização do Lixão - Silvânia - GO



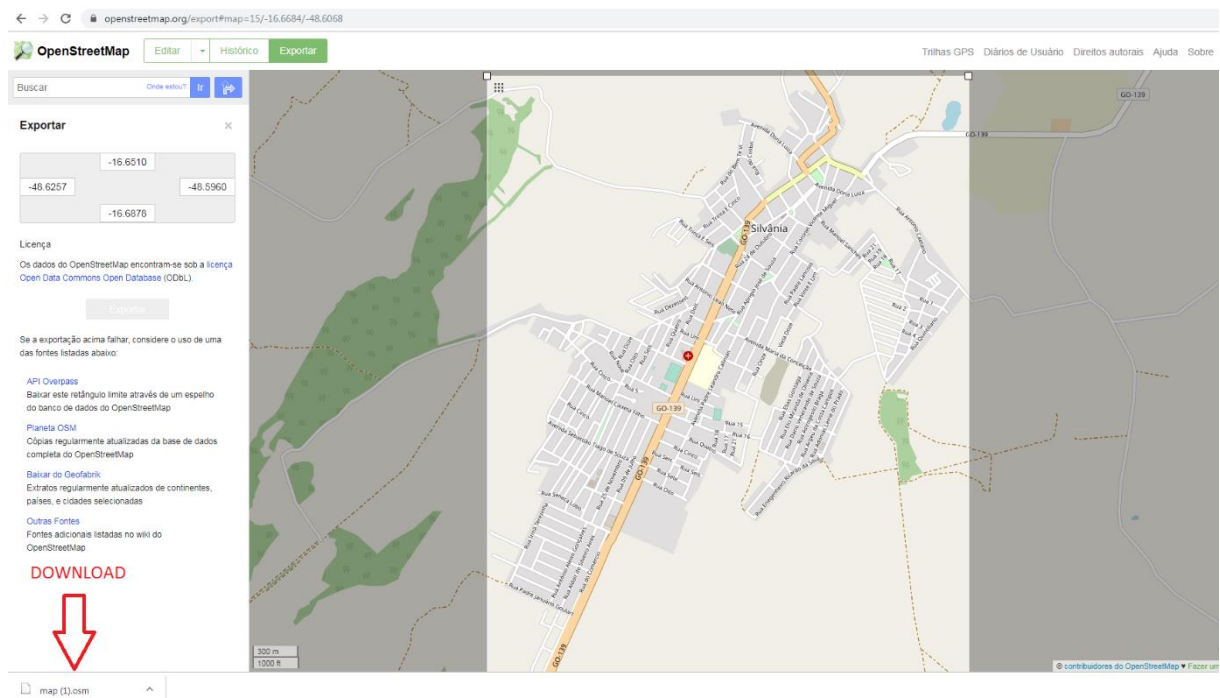
Fonte: Google Maps (2019)

Como na cidade não há nenhuma pesquisa que quantifique o lixo por região, a experiência do motorista é quem dita como serão determinadas as rotas. De acordo com o motorista, segunda e terça são os dias em que há maior volume de lixo coletado (em média 9t), em função do acúmulo do dia de domingo, onde não é realizado o serviço. Quando o veículo atinge aproximadamente a carga máxima, o motorista o conduz para o local de disposição final para ser descarregado. Ele deve então retornar a garagem ou reiniciar a operação do ponto onde pararam se a rota ainda não estiver sido cumprida.

5.4 USO DO SIG PARA TRAÇADO DAS ROTAS

Para início das análises propostas, foi baixada a malha viária através da plataforma do *OpenStreetMap*, que é um mapeamento colaborativo que disponibiliza dados geográficos gratuitos sem limitação de utilização. A Figura 5.8 mostra o *download* dos dados da cidade de Silvânia, que foi exportado para ser tratado no QGIS.

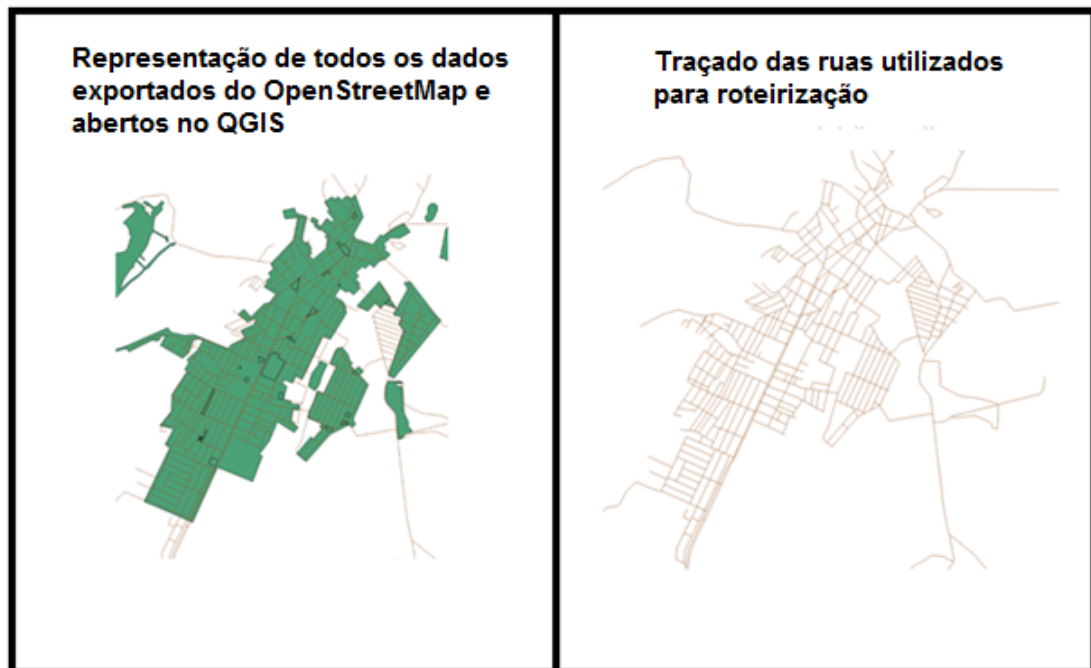
Figura 5.8 - Malha Viária de Silvânia - GO



Fonte: OpenStreetMap (2019)

Para abrir o arquivo OSM baixado, foi utilizada a versão do QGIS 2.18.10. Os dados que não interessavam para a construção das rotas foram desconsiderados deixando apenas as informações sobre o arruamento (linhas). A Figura 5.9 mostra a imagem da rede viária de Silvânia digitalizada.

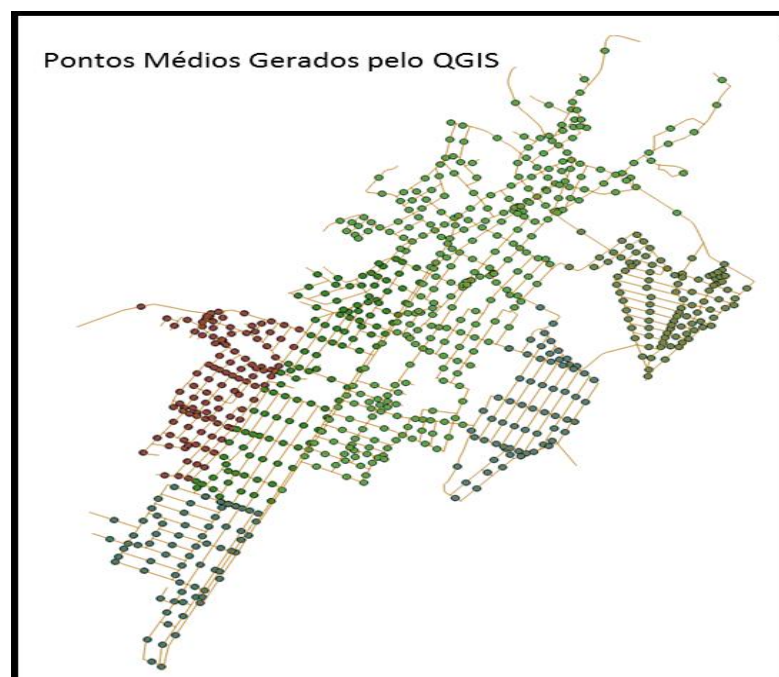
Figura 5.9 - Malha Viária de Silvânia - GO no QGIS



Fonte: Autores (2019)

O QGIS também foi utilizado para gerar os pontos médios no arruamento, necessários para criar as rotas na cidade. A Figura 5.10 mostra os pontos médios de cada rua gerados pelo software.

Figura 5.10 - Pontos Médios - QGIS



Fonte: Autores (2019)

Os pontos médios foram gerados para servirem como pontos onde o veículo coletor vai passar. Também foram utilizados para dividir os bolsões, fazendo com que a roteirização no Arcgis fosse feita por cada bolsão separadamente.

5.5 USO DA FERREMENTA NETWORK ANALYST DO SIG ARCGIS

O ArcGis é composto de um grupo de programas que constituem um Sistema de Informação Geográfica. É produzido pela empresa americana ESRI (Environmental Systems Research Institute), e apresenta ferramentas que permitem visualização, análise e manipulação de *shapifles* e *geodatabases* (Oliveira, 2014).

Network Analyst é uma ferramenta de extensão do ArgGis que possibilita a análise de redes espaciais incluindo roteamento entre nós, roteirização de veículos, localização de pontos, distribuição de redes de transportes, entre outros. Com o uso desta ferramenta é possível utilizar condições reais da via, como sua extensão, limites de velocidade, restrições de sentido.

De acordo com o Desktop.ArcGis (2019), os solucionadores de roteamento na extensão ArqGis *Network Analyst* são baseados no algoritmo de *Dijkstra*, com a finalidade de se encontrar os caminhos mais curtos. Este algoritmo resolve o problema de fonte única e caminho mais curto em um gráfico ponderado. Para encontrar o caminho mais curto de um local de partida **s** para um local de destino **d**, o algoritmo *Dijkstra* mantém um conjunto de junções, **S**, cujo caminho mais curto final de **s** já foi calculado.

Para encontrar um caminho mínimo de um vértice **s** a um vértice **d** em um grafo **G** com custos positivos nos arcos, é preciso calcular todos os caminhos mínimos em **G** que começam em **s**. O conjunto de todos esses caminhos pode ser representado por uma árvore de caminhos mínimos, ou SPT (*shortest paths tree*), que é uma árvore radcada em **d** e **G**, com raiz tal que:

- Todo vértice ao alcance de **s** e **G** pertence a **d**, e
- Todo caminho em **d** que começa em **s** é um caminho mínimo em **G**.

De acordo com a propriedade dos segmentos de caminhos mínimos, todo grafo com custos positivos nos arcos tem uma SPT, logo, o problema estudado neste trabalho é equivalente ao problema dos caminhos mínimos sob custos positivos.

O algoritmo de *Dijkstra* encontra repetidamente uma junção no conjunto de junções que tem a estimativa do caminho mais curto-mínimo, adicionando para o conjunto de junções **S**, e atualiza as estimativas mais curtas de caminho de todos os vizinhos desta junção que não estejam em **S**. O algoritmo continua até que a junção de destino é adicionada ao **S**.

Com a análise do *ArqGis Network Analyst*, foi possível visualizar e compreender a distribuição espacial da malha viária da cidade de Silvânia, classificar suas vias e suas restrições, podendo assim determinar rotas de coleta de resíduos sólidos que ofereceriam menores distâncias percorridas pelos veículos. A ferramenta permitiu de forma automática gerar a distância de rota dentro de cada bolsão a partir de um vértice de origem e diversos vértices de destino, estabelecendo uma matriz que melhor representasse o melhor caminho a ser percorrido.

No primeiro cenário, foi feita a distribuição dos bolsões conforme a coleta é realizada hoje no município, a partir de dados adquiridos junto ao setor de Obras e Infra Estrutura da Prefeitura Municipal, que é responsável pela execução dos serviços de limpeza pública. Na cidade todas as vias são servidas pelo serviço de coleta, sendo que, nas ruas sem saída é executada uma manobra em U.

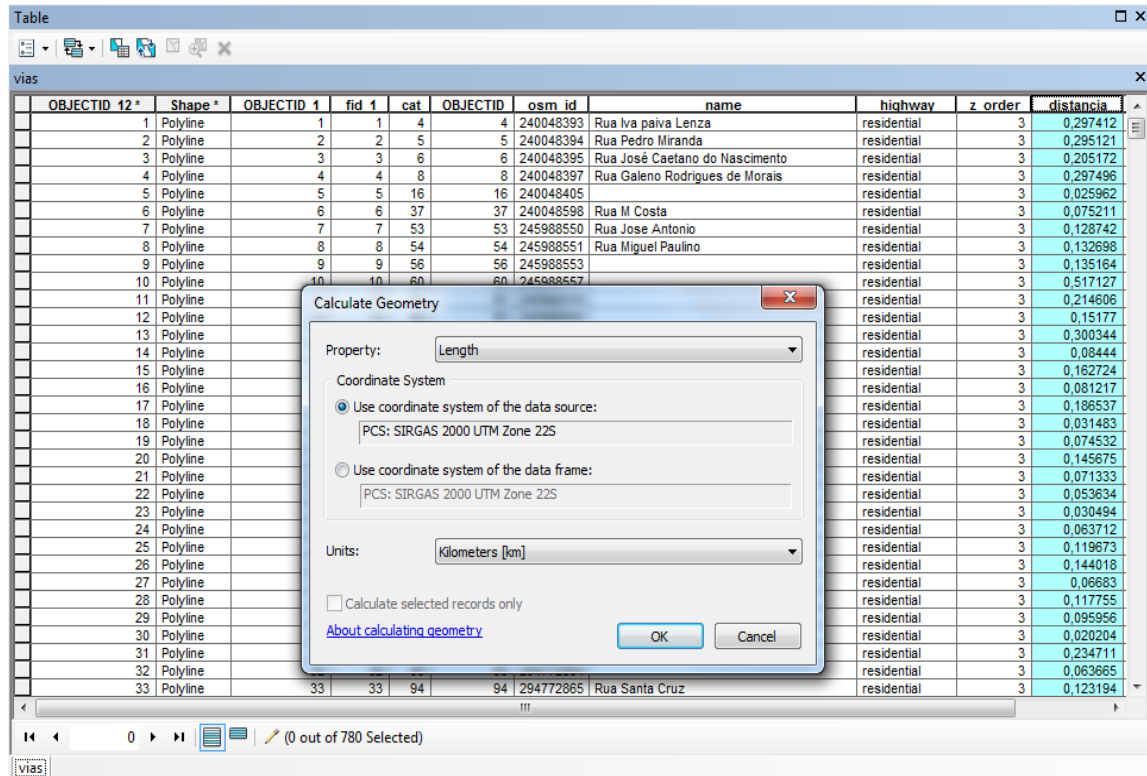
A melhor rota pode ser a mais rápida, mais curta ou mais panorâmica, dependendo da impedância escolhida. Neste trabalho foi estipulada a distância como atributo de custo para análise, uma vez que tempo e velocidade são variáveis de análise complexa para o serviço de coleta, porque depende de fatores humanos para determinação. Para usar o método de roteirização analisando uma rede, deve-se:

- Preparar um arquivo geográfico com as camadas de análise;
- Estabelecer os dados da rede viária – vias a serem servidas, pontos de passagens, sentido da via, geração de resíduos;
- Definir as políticas de conectividade e elevação;
- Estabelecer os atributos da rede;
- Configurar o avaliador de medidores (calcula o custo das distâncias para as arestas na rede).

Com os dados importados do QGIS para o ArcGis, em primeiro momento trabalhou a tabela de atributos, calculando as distâncias de cada arruamento. Esse procedimento se deu editando a tabela e adicionando então um novo item nomeado de Distância. Em seguida usando a ferramenta *Calculate Geometry*, calculou-se a medida de cada rua

automaticamente pelo software. A Figura 5.12 mostra a tabela de atributos com a coluna de Distância já calculada.

Figura 5.11 - Tabela de atributos ArcGis



The screenshot shows the 'Table' window in ArcGIS, displaying a table of road segments. The table has columns: OBJECTID, Shape, OBJECTID_1, fid_1, cat, OBJECTID, osm_id, name, highway, z_order, and distancia. A 'Calculate Geometry' dialog box is open over the table, with 'Property' set to 'Length', 'Coordinate System' set to 'PCS: SIRGAS 2000 UTM Zone 22S', and 'Units' set to 'Kilometers [km]'. The dialog box also has options for 'Use coordinate system of the data source' and 'Use coordinate system of the data frame', both of which are selected. The 'Calculate selected records only' checkbox is unchecked. The 'OK' button is highlighted.

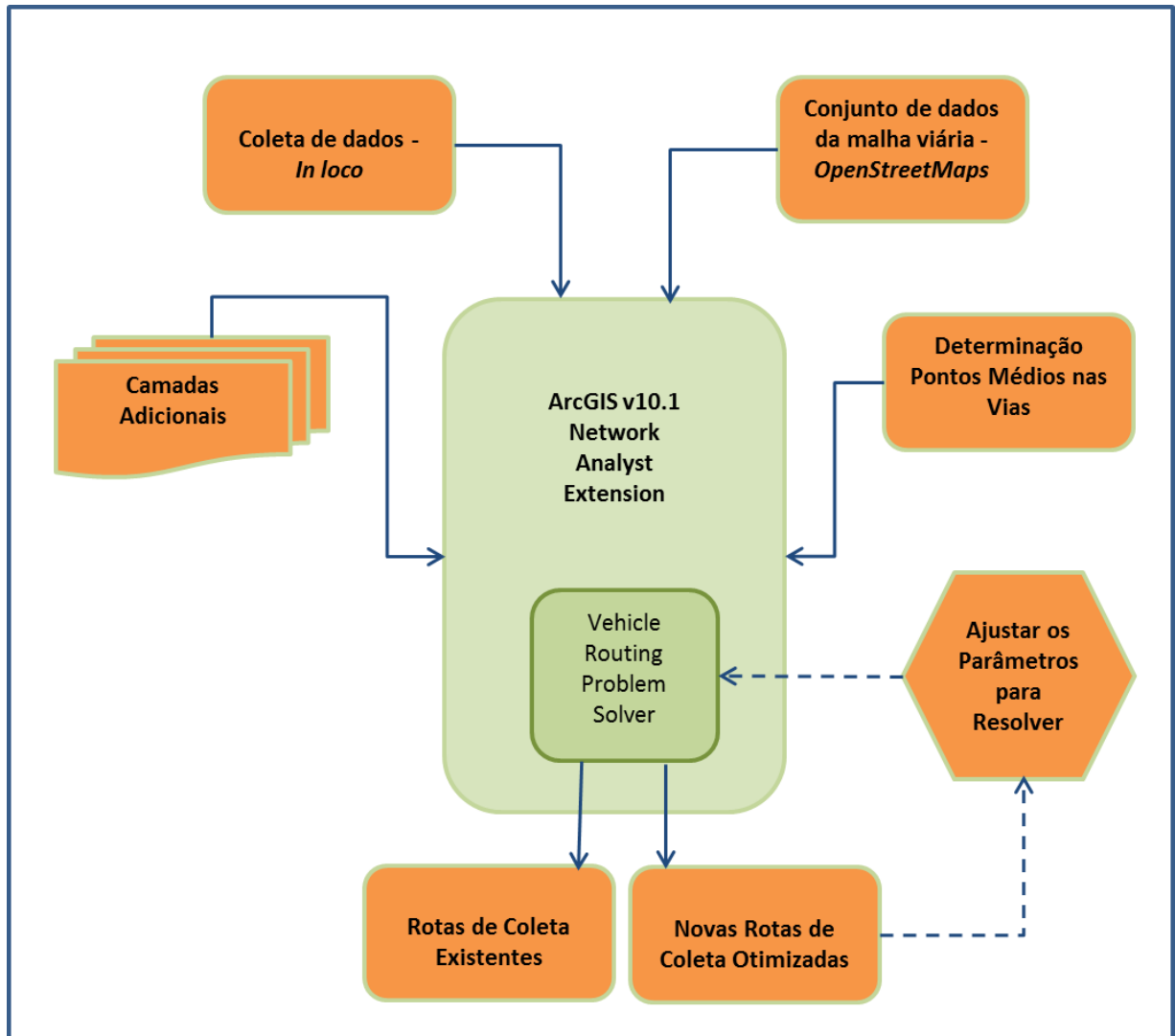
OBJECTID	Shape	OBJECTID_1	fid_1	cat	OBJECTID	osm_id	name	highway	z_order	distancia
1	Polyline	1	1	4	4	240048393	Rua Iva paiva Lenza	residential	3	0,297412
2	Polyline	2	2	5	5	240048394	Rua Pedro Miranda	residential	3	0,295121
3	Polyline	3	3	6	6	240048395	Rua José Caetano do Nascimento	residential	3	0,205172
4	Polyline	4	4	8	8	240048397	Rua Galeno Rodrigues de Moraes	residential	3	0,297496
5	Polyline	5	5	16	16	240048405		residential	3	0,025962
6	Polyline	6	6	37	37	240048598	Rua M Costa	residential	3	0,075211
7	Polyline	7	7	53	53	245988550	Rua Jose Antonio	residential	3	0,128742
8	Polyline	8	8	54	54	245988551	Rua Miguel Paulino	residential	3	0,132698
9	Polyline	9	9	56	56	245988553		residential	3	0,135164
10	Polyline	10	10	60	60	245988557		residential	3	0,517127
11	Polyline							residential	3	0,214606
12	Polyline							residential	3	0,15177
13	Polyline							residential	3	0,300344
14	Polyline							residential	3	0,08444
15	Polyline							residential	3	0,162724
16	Polyline							residential	3	0,081217
17	Polyline							residential	3	0,186537
18	Polyline							residential	3	0,031483
19	Polyline							residential	3	0,074532
20	Polyline							residential	3	0,145675
21	Polyline							residential	3	0,071333
22	Polyline							residential	3	0,053634
23	Polyline							residential	3	0,030494
24	Polyline							residential	3	0,063712
25	Polyline							residential	3	0,119673
26	Polyline							residential	3	0,144018
27	Polyline							residential	3	0,06683
28	Polyline							residential	3	0,117755
29	Polyline							residential	3	0,095956
30	Polyline							residential	3	0,020204
31	Polyline							residential	3	0,234711
32	Polyline							residential	3	0,063665
33	Polyline	33	33	94	94	294772865	Rua Santa Cruz	residential	3	0,123194

Fonte: Autores (2019)

Para aplicação da ferramenta Network Analyst foi preciso elaborar um *Geodatabase* (banco de dados), que permite ao invés de utilizar arquivos individuais organizar os dados de forma centralizada. Para calcular as melhores rotas foi usado o solucionador *Vehicle Routing Problem* (VRP). Depois de criar as camadas de entrada, foi feita a configuração de alguns parâmetros no solucionador VRP e colocados os pontos iniciais e finais de cada bolsão. Com o comando *Solver* construiu-se a rota com o sequenciamento ideal.

A análise para este estudo foi baseada em requisitos que pudessem acomodar informações com os principais pontos de interesse que integraram o fluxo de trabalho no software. A Figura 5.11 mostra um fluxograma da proposta.

Figura 5.12 - Integração das Informações e Componentes do ArqGIS - Network Analyst



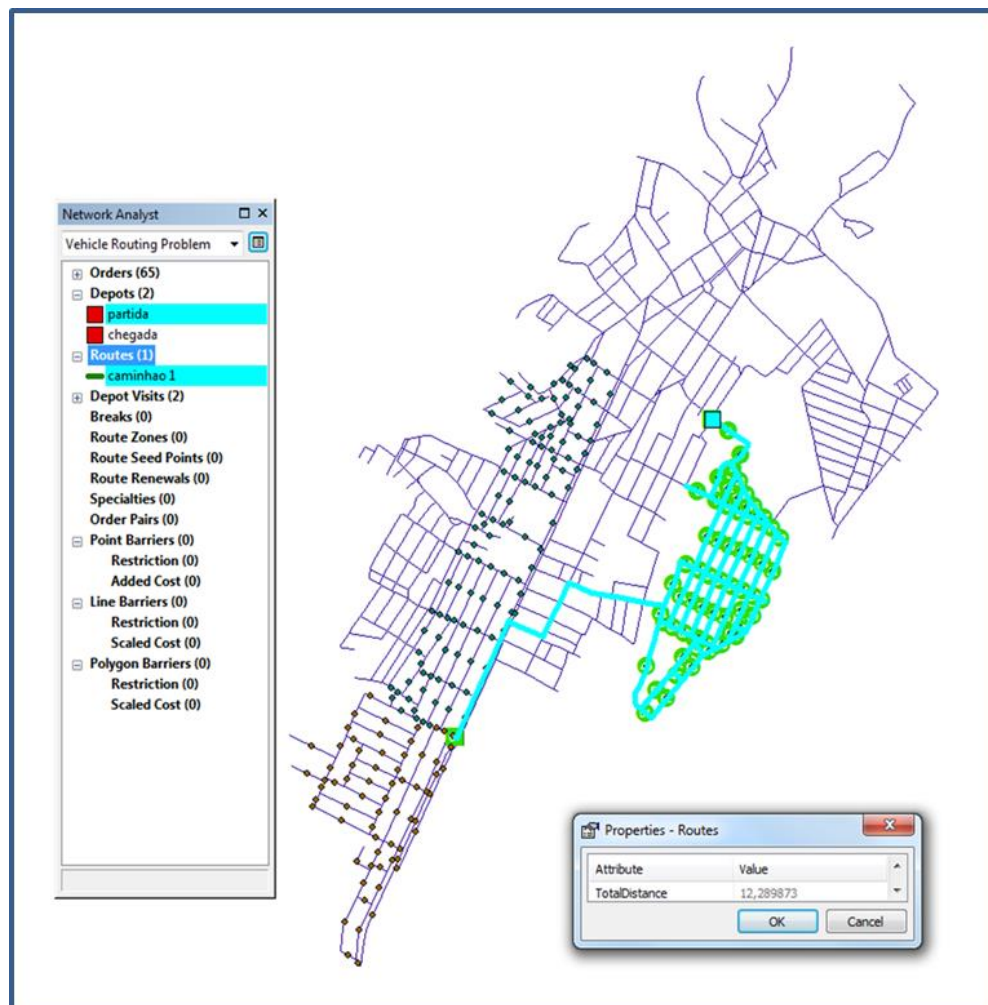
Fonte: O'Connor (2013) - Adaptado pelos autores

Os dados coletados *in loco* foram o pontapé para a elaboração do *Geotabase*, juntamente com a malha viária exportada do *OpenStreetMaps*. Foram criadas camadas adicionais (*shapefiles*) e para garantir que todas as ruas fossem servidas, determinaram-se os pontos médios. Com todas essas informações organizadas, utilizou-se a extensão do ArcGIS 10.1 *Network Analyst* e em seguida para roteirizar o VPR.

5.6 SIMULAÇÃO PELO VRP E ANÁLISE DOS RESULTADOS

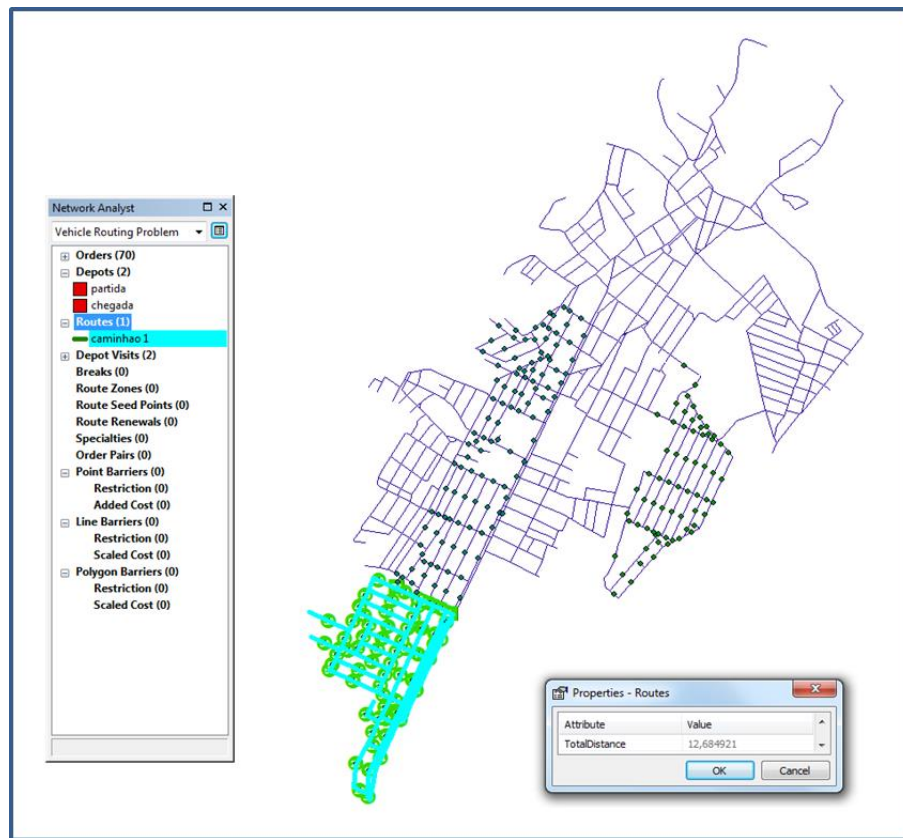
Cenário 1: Com a base de dados pronta, criou-se uma *network* (rede de trabalho) de transportes considerando as restrições estabelecidas (sentido permitido das vias, velocidade operacional e capacidade útil do veículo). A aplicação da rotina teve como objetivo traçar a menor distância percorrida e que todas as vias fossem servidas. A primeira simulação foi traçar o itinerário utilizado atualmente na coleta. As simulações foram feitas em cada bolsão individualmente. As Figuras 5.13 a 5.19 mostra a representação gráfica do roteamento do veículo nos bolsões propostos pelo software. Na cidade são executados os mesmos bolsões, no entanto com outra trajetória.

Figura 5.13 - Representação Gráfica da Coleta – Bolsão 1 – Segunda; quarta e sexta-feira



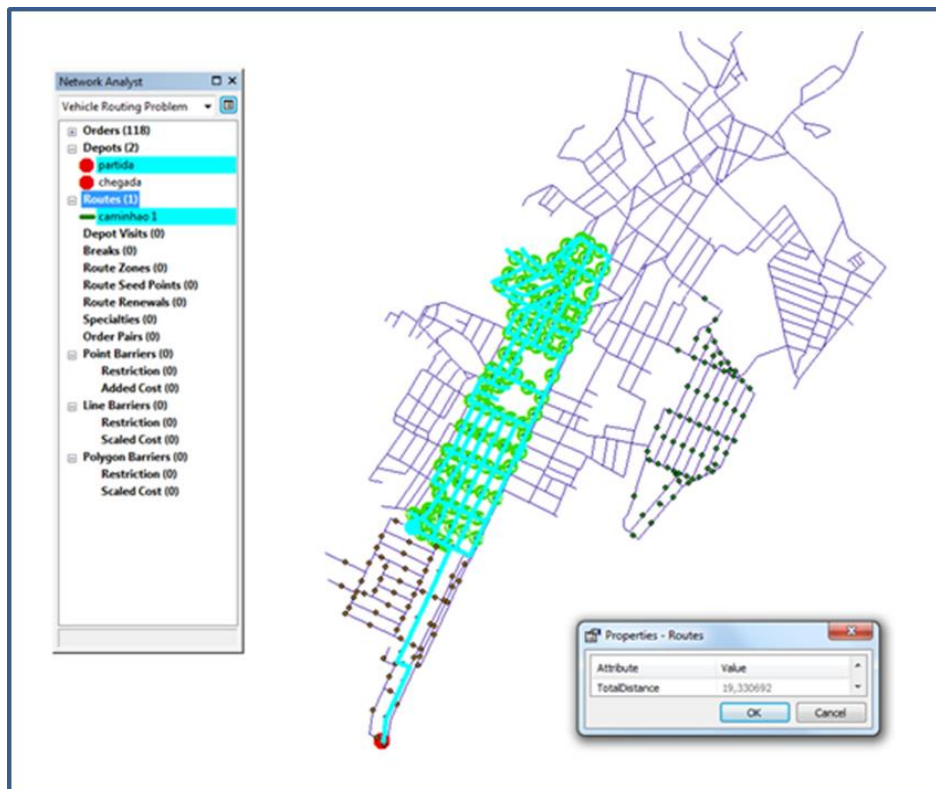
Fonte: Autores

Figura 5.14 - Representação Gráfica da Coleta – Bolsão 1.1 - Segunda, quarta e sexta-feira



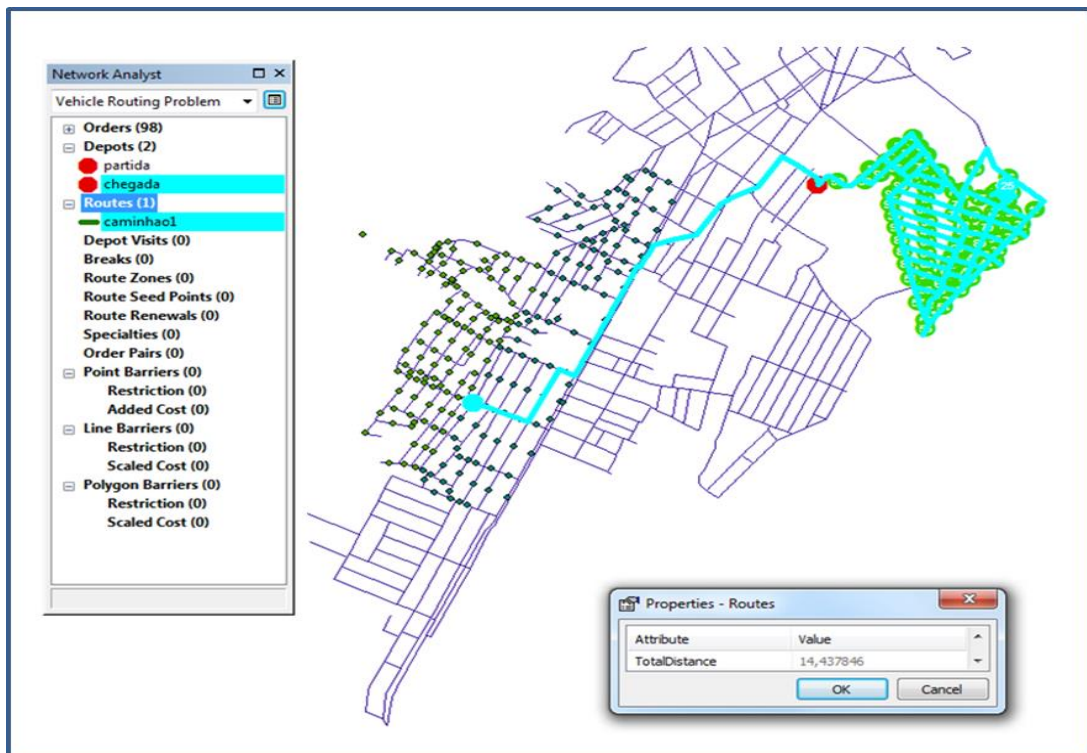
Fonte: Autores

Figura 5.15 - Representação Gráfica da Coleta – Bolsão 1.2 – Segunda; quarta e sexta



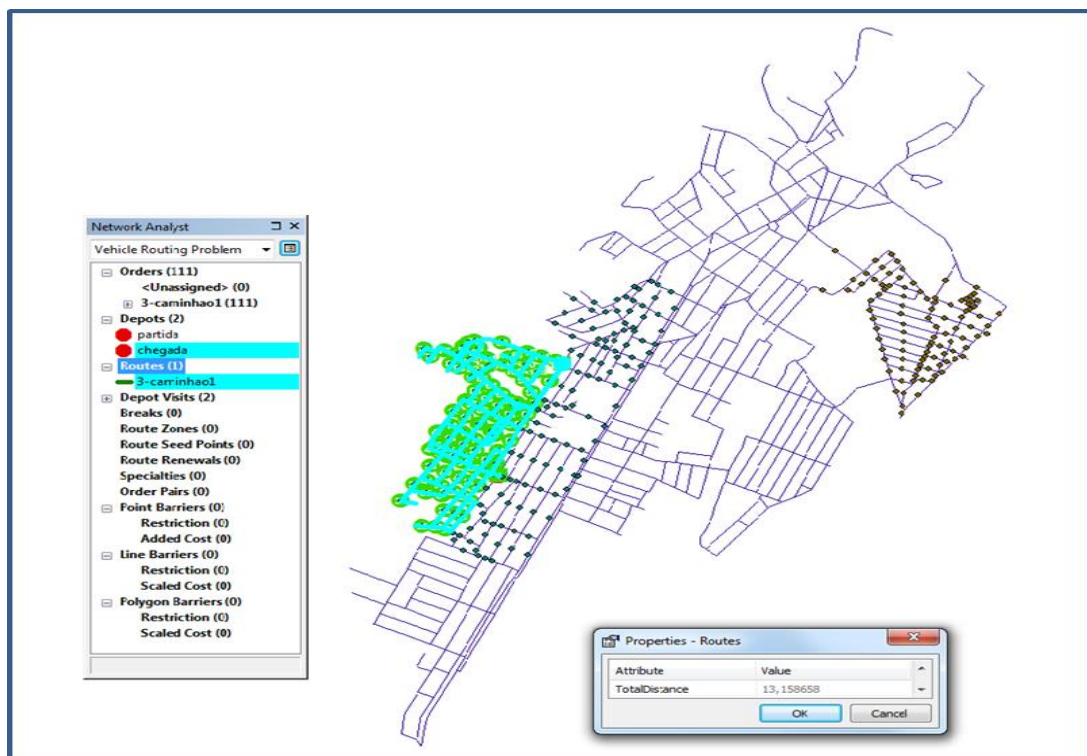
Fonte: Autores

Figura 5.16 - Representação Gráfica da Coleta – Bolsão 2 – Terça; quinta e sábado



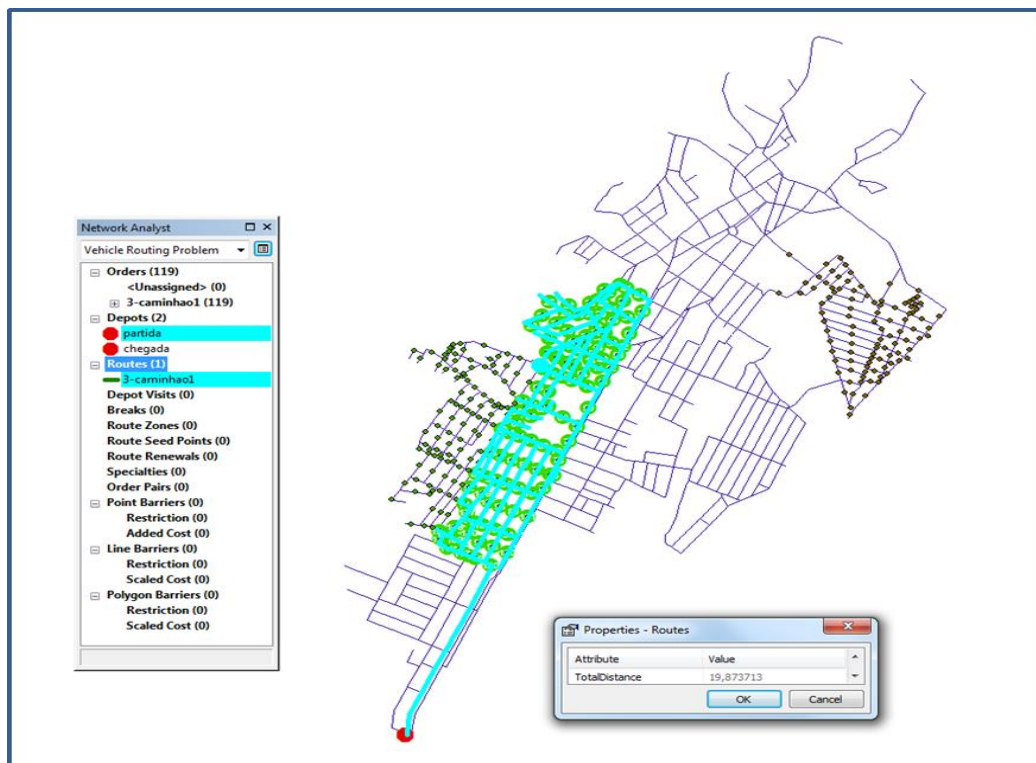
Fonte: Autores

Figura 5.17 - Representação Gráfica da Coleta – Bolsão 2.1 – Terça; quinta e sábado



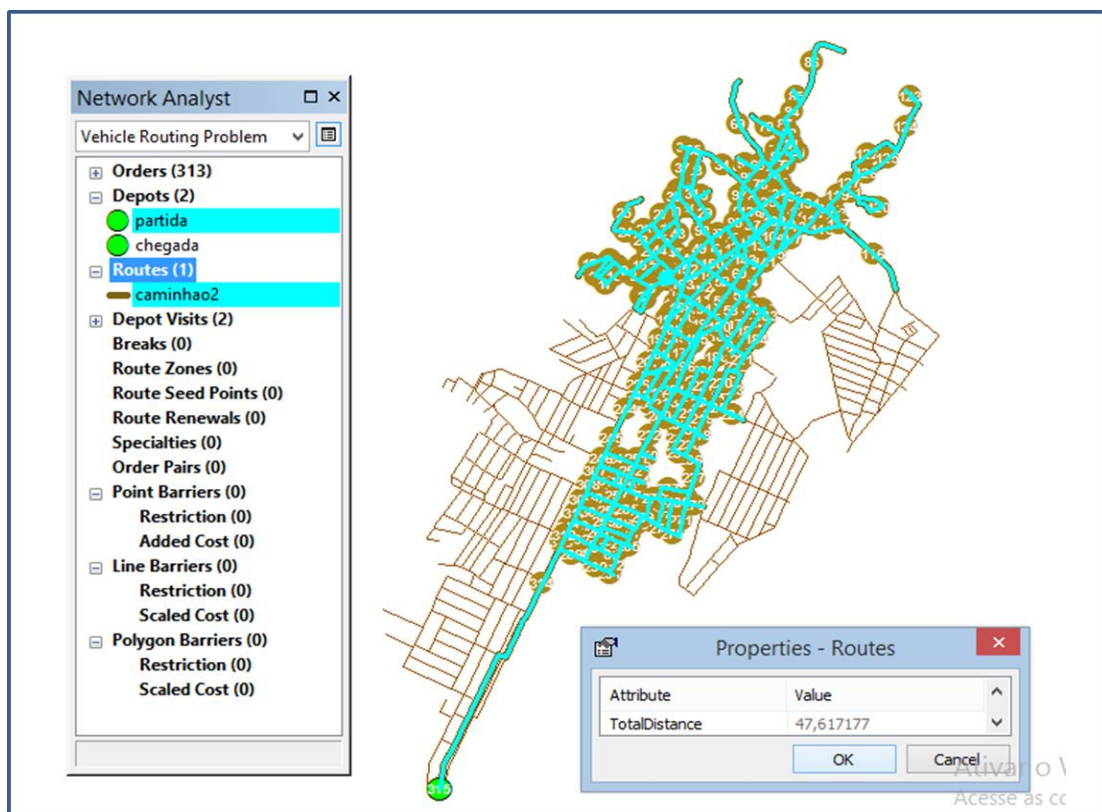
Fonte: Autores

Figura 5.18 - Representação Gráfica da Coleta – Bolsão 2.2 – Terça; quinta e sábado



Fonte: Autores

Figura 5.19 - Representação Gráfica da Coleta – Bolsão 3 – Segunda a sábado

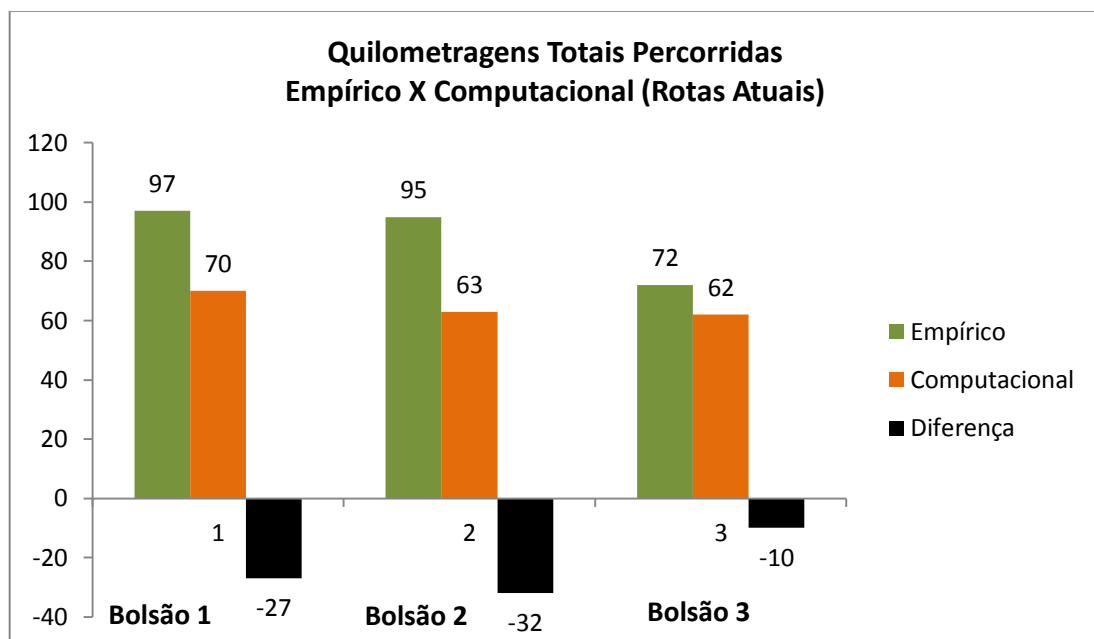


Fonte: Autores

Com as informações de distância constantes nas tabelas geradas pelo *Vehicle Routing Problem* - VPR, que estão incluídas nas rotas das figuras apresentadas anteriormente, foi possível uma avaliação quantitativa do parâmetro operacional do serviço de coleta domiciliar. O ciclo se repete semanalmente, com oscilações naturais no intervalo de uma semana. Neste trabalho foram considerados os bolsões de operação semanal (que são feitos alternadamente e roteirizados empiricamente pelos motoristas) e foram comparados os parâmetros obtidos pelo método atual e os determinados através da simulação realizada pelo software.

O Gráfico 5.1 apresenta os resultados em relação à rota atual e a rota dos mesmos bolsões gerada pelo software. É possível observar que as distâncias totais percorridas de forma empírica são superiores as rotas obtidas com a rotina. O gráfico mostra os quilômetros diminuídos em relação ao método empírico e computacional para cada bolsão de coleta. Os dados quanto às distâncias atuais foram fornecidas pelo motorista responsável pela rota.

Gráfico 5.1 - Distância Total (km) Percorrida por Bolsão



Fonte: Autores (2019)

Não foi possível considerar nas simulações utilizando o *Vehicle Routing Problem* (VRP) o local de disposição final. Foi então criado um ponto final de referência onde o veículo encerra a rota. Os cálculos das distâncias adicionais não foram considerados nas rotas geradas, sendo acrescentadas aos cálculos para a construção dos gráficos, descritas na Tabela 5.2, considerando um único ponto final, marcado na Figura 5.7 com sua respectiva distância, calculada pelo GoogleMaps. Vale ressaltar que foi também feita a simulação pelo

ArqGis através do caminho mínimo, ficando os valores bem próximos. Considerou-se o do GoogleMaps por ter uma melhor visualização da rota.

Tabela 5.2 - Distâncias Totais em km para os bolsões – Cenário 1

	Bolsão 1 (km)	Bolsão 2 (km)	Bolsão 3 (km)
Distâncias Geradas pela rotina	12,28	14,43	47,61
	12,68	13,16	
	29,33	19,87	
Distância Ponto final à garagem	14,3	14,3	14,3
Distância Garagem/Início da rota	1,1	0,77	Início na Garagem
Distância Total	70	63	62

Fonte: Autores (2019)

Todas as simulações foram realizadas com o intuito de verificar a eficiência do SIG no roteamento de veículos de coleta de resíduos sólidos urbanos. 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, logo a viabilidade de se aplicar nas operações práticas.

Cenário 2: O objetivo final era aplicar a rotina com o intuito de minimizar a distância total percorrida pelo veículo coletor. Novas simulações foram propostas até que se conseguisse chegar a melhor rota (menor percurso). Os bolsões propostos (Figura 5.20) dividem a cidade em três setores, distribuídos pelas regiões leste e oeste. Considerando a capacidade útil do veículo, só foi possível melhorar as rotas praticadas por um dos veículos. O terceiro bolsão já tem uma quilometragem extensa e a capacidade do veículo no limite.

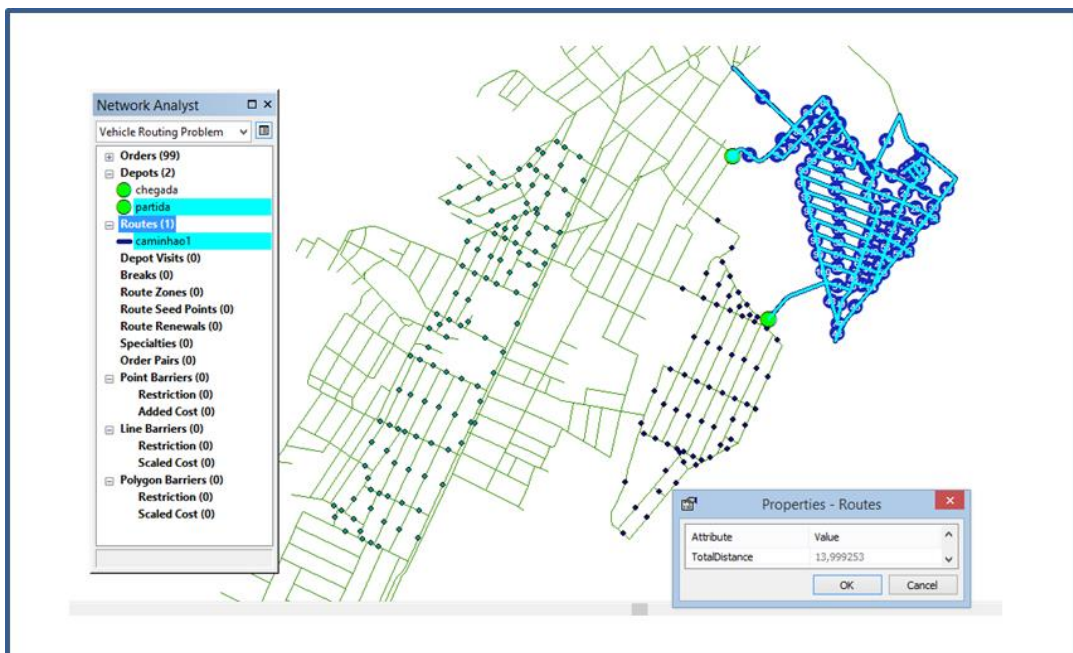
Figura 5.20 - Bolsões de Coleta Proposto - Silvânia - GO



Fonte: Autores (2019)

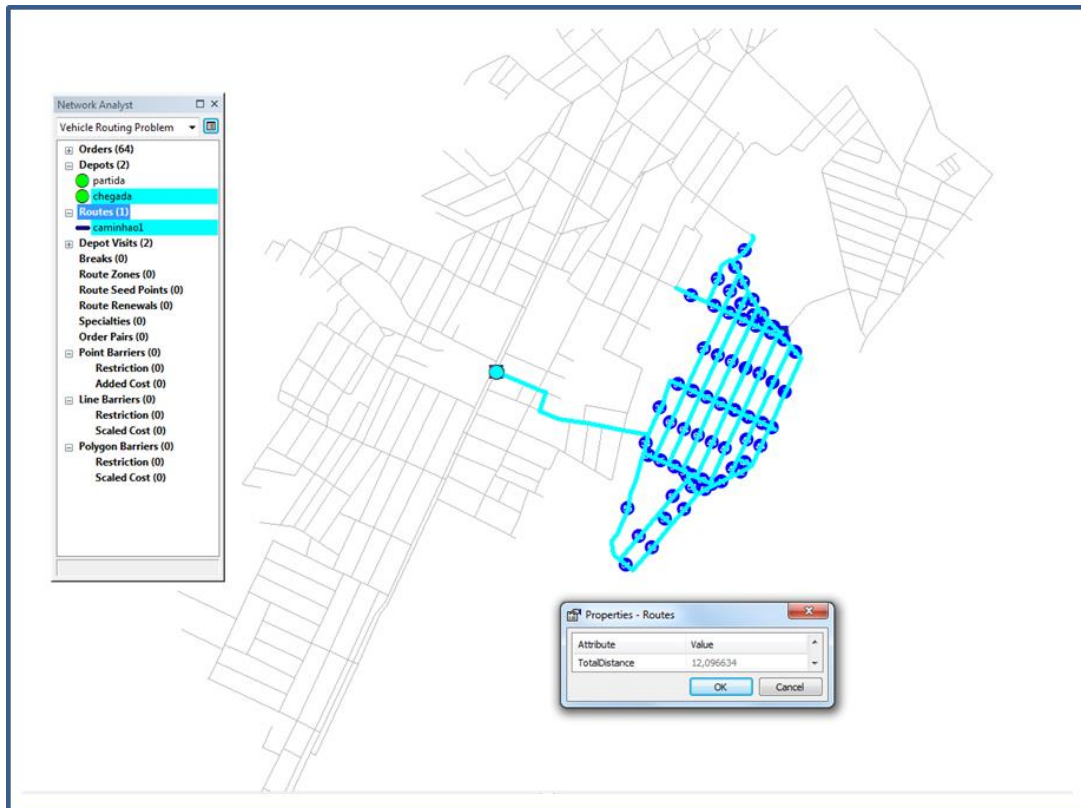
As Figuras de 5.21 a 5.26 mostra a representação gráfica do roteamento do veículo nos bolsões propostos geradas pelo software.

Figura 5.21 - Representação Gráfica da Coleta Proposta – Bolsão 1 – Segunda; quarta e sexta-feira



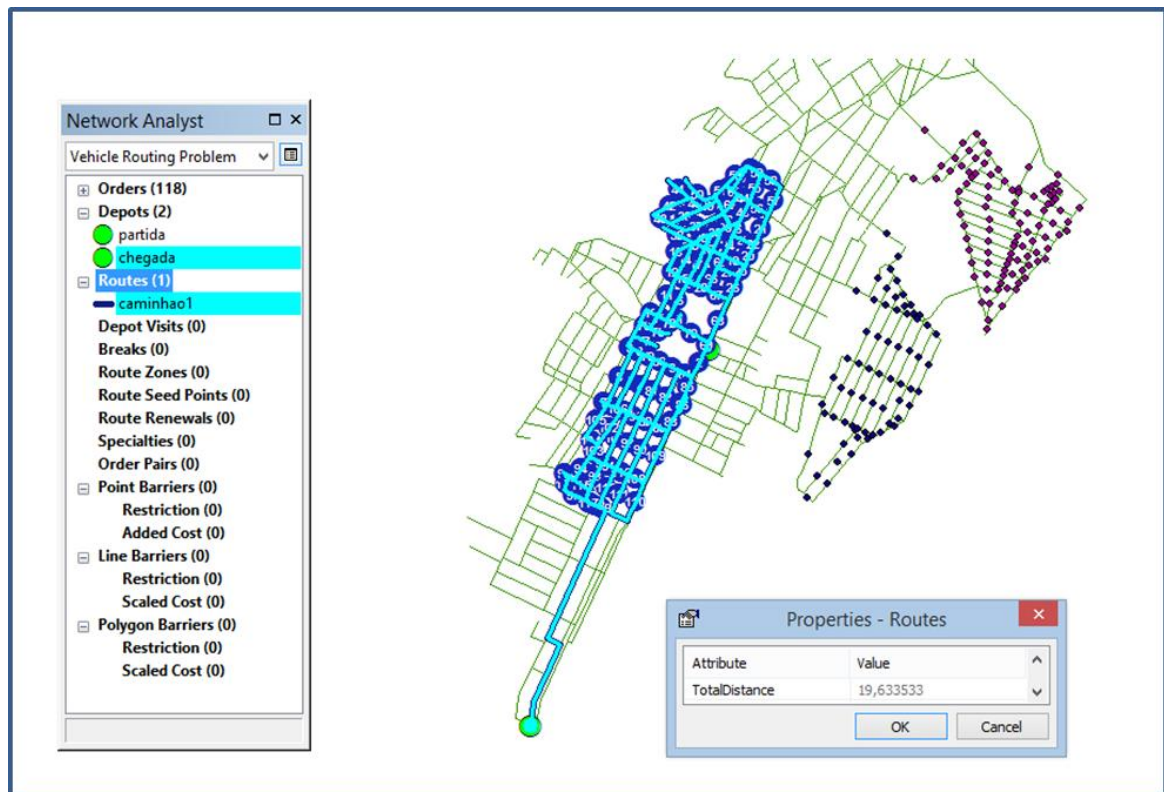
Fonte: Autores (2019)

Figura 5.22 - Representação Gráfica da Coleta Proposta – Bolsão 1 – Segunda; quarta e sexta-feira



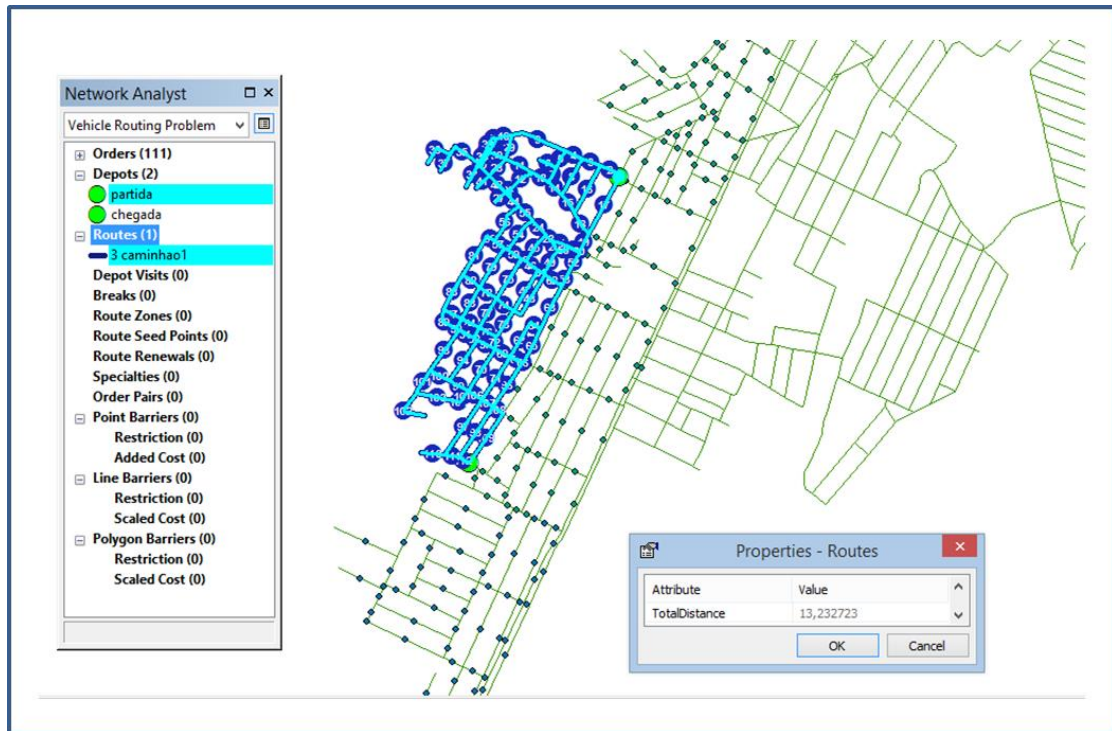
Fonte: Autores (2019)

Figura 5.23 - Representação Gráfica da Coleta Proposta – Bolsão 1 – Segunda; quarta e sexta-feira



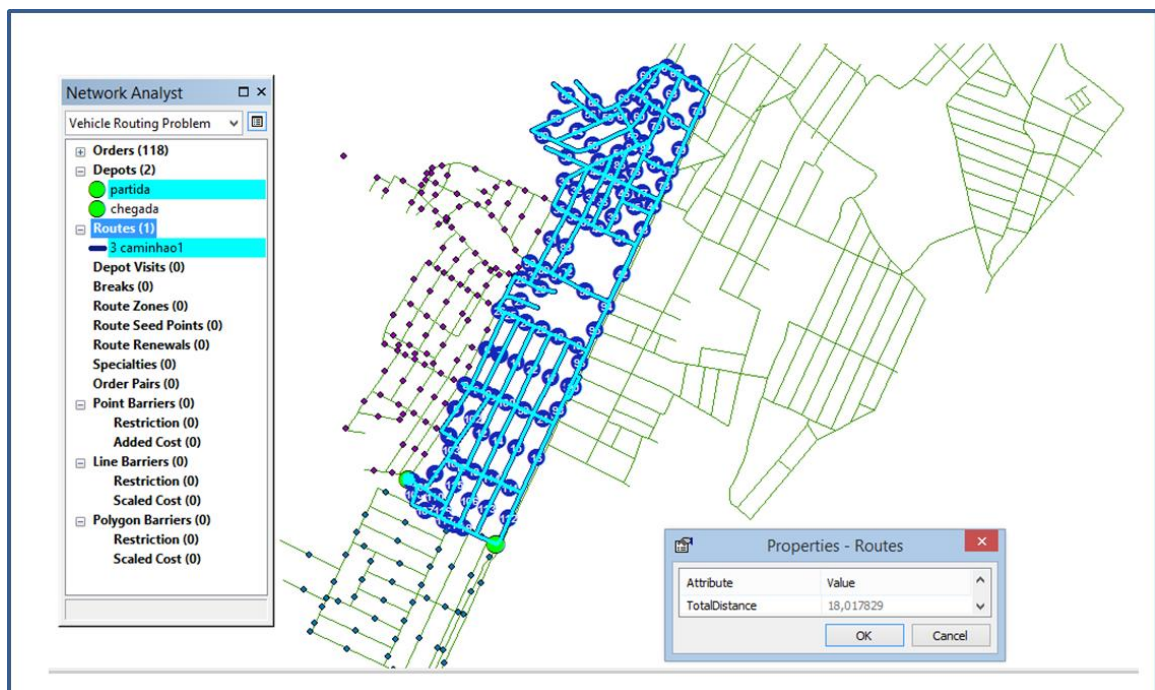
Fonte: Autores (2019)

Figura 5.24 - Representação Gráfica da Coleta Proposta – Bolsão 2 – Terça; quinta e sábado



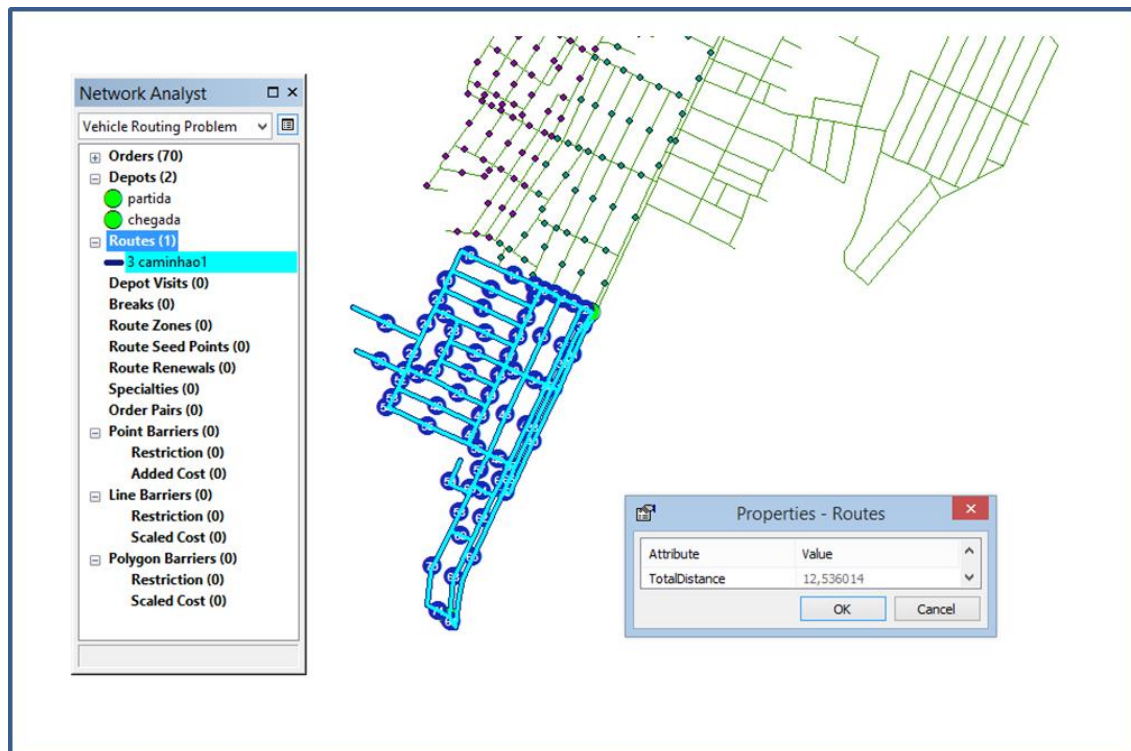
Fonte: Autores (2019)

Figura 5.25 - Representação Gráfica da Coleta Proposta – Bolsão 2 – Terça; quinta e sábado



Fonte: Autores (2019)

Figura 5.26 - Representação Gráfica da Coleta Proposta – Bolsão 2 – Terça; quinta e sábado



Fonte: Autores (2019)

Da mesma maneira feita no primeiro cenário, foi determinada a distância total para o Cenário 2. Foi considerado o mesmo ponto final de referência para o término da rota e as distâncias somadas, conforme mostra a Tabela 5.2.

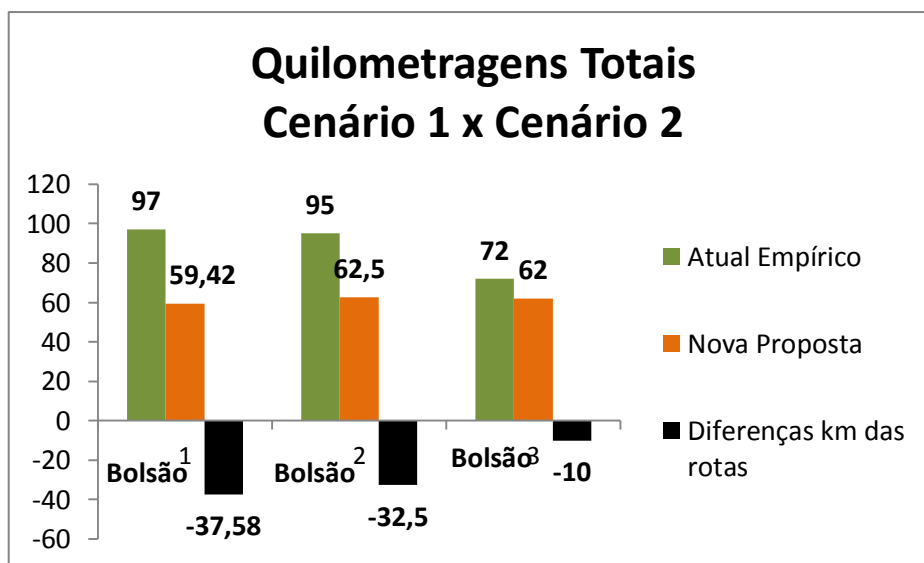
Tabela 5.3 - Distâncias Totais (km) - Cenário 2

	Bolsão 1 (km)	Bolsão 2 (km)
Distâncias Geradas pela rotina	13,4	13,23
	12,09	18,01
	19,63	12,53
Distância Ponto final à garagem	14,3	14,3
Distância Total	59,42	62,53

Fonte: Autores (2019)

A partir das distâncias calculadas para os novos bolsões propostos foi possível gerar um gráfico comparativo entre as rotas traçadas empiricamente e as geradas pelo software, como mostra o Gráfico 5.2 – Cenários 1 X Cenário 2 para os bolsões 1 e 2, já que o bolsão 3 só foi possível melhorar a rota já desenvolvida, em função da capacidade útil do veículo.

Gráfico 5.2 - Distâncias Totais (km) percorridas nos bolsões - Silvânia – GO

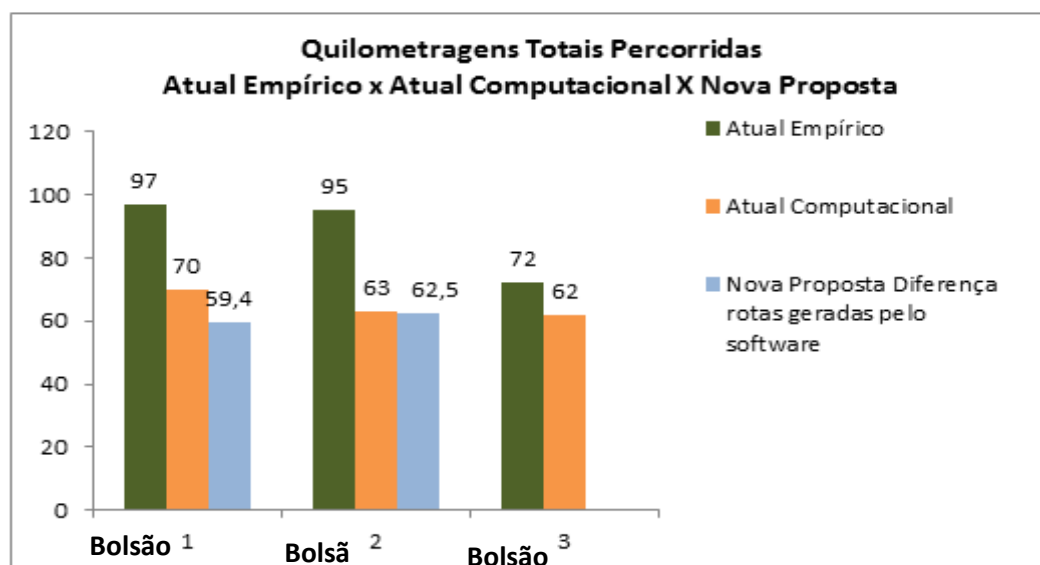


Fonte: Autores (2019)

Quando a simulação é feita com uma nova proposta de bolsão, as reduções são mais significativas, chegando a aproximadamente 39 km, o que representa 40% de diminuição de distância percorrida para o Bolsão 1 e 33 km para o Bolsão 2, representando 34%. Com a redefinição dos bolsões os ganhos foram maiores.

Ao comparar as distâncias entre as rotas atuais empíricas, os mesmos bolsões com rotas geradas pelo software e a nova proposta, fica claro que o ArqGis organizou os percursos de maneira mais eficiente. O Gráfico 5.3 permite uma percepção visual do ganho, que se mostra significativo entre as propostas.

Gráfico 5.3 - Quilometragens Totais Percorridas



Fonte: Autores (2019)

Após a aplicação do SIG para a construção de rotas de coleta de resíduos sólidos urbanos comprova-se a eficiência de sua utilização e aplicabilidade para este tipo de estudo. As reduções foram expressivas, e quando acumuladas ao final de um ano, representam um valor considerável de economia para o município. A Tabela 5.4 mostra as distâncias em km de cada bolsão semanal, mensal e anual.

Tabela 5.4 - Quilometragem ao longo de um ano - Método Empírico e Método Computacional

		km	SEMANAL (km)	MENSAL (km)	ANUAL (km)
Método Empírico	Bolsão 1	97	679	2.716	32.592
	Bolsão 2	95	665	2.660	31.920
	Bolsão 3	72	432	1.728	20.736
	Km Totais		1.776	7.104	85.248

		km	SEMANAL (km)	MENSAL (km)	ANUAL (km)
Método Computacional	Bolsão 1	59	406	1.624	19.488
	Bolsão 2	63	441	1.764	21.168
	Bolsão 3	62	372	1.488	17.856
	km Totais		1.226	4.904	58.848
		km economizados ao longo do tempo	550	2.200	26.400

Fonte: Autores

Ao longo de um ano tem-se uma redução de 26.400 km, que reflete diretamente em economia financeira para o município.

5.6.1 DIREÇÃO DAS ROTAS GERADAS

As direções das rotas foram geradas em uma planilha do Excel, pela extensão VPR, onde é possível saber o caminho a ser seguido. É uma planilha detalhada que descreve o nome da rua, o tipo de manobra solicitada ao motorista, o rumo que deverá seguir, distância, estimativa de tempo e um link (Map), que mostra exatamente o ponto no mapa.

A título de exemplo foi escolhida a rota de um setor do Bolsão 2 (Figura 5.26, pg. 74) para que fosse melhor visualizado o procedimento. A Tabela 5.5 mostra um recorte da planilha (início e fim), com todos os atributos descritos no parágrafo acima. O software faz esta análise para cada ponto gerado, o que justifica a extensão da mesma. (Anexo 1).

Para plotar a rota em um mapa é necessário tratar essas informações e organizar de forma a agrupar as mesmas ruas e assim traçar a sequencia geometricamente.

Tabela 5.5 - Direção das Rotas

Directions (Vehicle Routing Problem)			
[-] Route: caminhao1			
	12,1 km	< 1 min	Map
1:	Start at partida		Map
2:	Go southwest toward Rua Argeu da Costa Campos / Rua Joao Correia Bittencourt	< 0,1 km	< 1 min Map
3:	Turn left on Rua Joao Correia Bittencourt	< 0,1 km	< 1 min Map
4:	Arrive at Rua Joao Correia Bittencourt3, on the left		Map
5:	Depart Rua Joao Correia Bittencourt3		
6:	Continue southeast on Rua Joao Correia Bittencourt	< 0,1 km	< 1 min Map
7:	Make U-turn at Rua Adonias Leme do Prado and go back on Rua Joao Correia Bittencourt	< 0,1 km	< 1 min Map
8:	Arrive at Rua Joao Correia Bittencourt5, on the right		Map
9:	Depart Rua Joao Correia Bittencourt5		
10:	Continue northwest on Rua Joao Correia Bittencourt	< 0,1 km	< 1 min Map
11:	Make sharp left on Rua Astrogésilo Braga	0,2 km	< 1 min Map
...			
242:	Turn left on Rua Elci Miranda de Oliveira	0,1 km	< 1 min Map
240:	Arrive at Rua Elci Miranda de Oliveira1, on the left		Map
241:	Depart Rua Elci Miranda de Oliveira1		
242:	Continue southwest on Rua Elci Miranda de Oliveira	0,1 km	< 1 min Map
243:	Turn right and immediately turn right on Rua Elias Gonzaga	0,2 km	< 1 min Map
244:	Arrive at Rua Elias Gonzaga1, on the right		Map
245:	Depart Rua Elias Gonzaga1		
246:	Continue northeast on Rua Elias Gonzaga	0,1 km	< 1 min Map
247:	Turn left	< 0,1 km	< 1 min Map
248:	Turn left on Avenida Oscar Caetano do Nascimento	0,2 km	< 1 min Map
249:	Turn right on Rua 16	0,4 km	< 1 min Map
250:	Turn right	< 0,1 km	< 1 min Map
251:	Turn left on Rua Dois	0,2 km	< 1 min Map
252:	Finish at chegada, on the left		Map
Total time: < 1 min			
Total distance: 12,1 km			
Start time: 13/11/2019 08:00			
Finish time: 13/11/2019 08:00			
Options... Print Preview... Save As... Print Close			

Fonte: Autores (2019)

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho avaliou o quanto a tecnologia com uso do SIG pode ser útil para reduzir as distâncias de coleta e transporte de Resíduos Sólidos Urbanos de uma cidade de pequeno porte, fazendo um estudo de caso em Silvânia, localizada no interior do estado de Goiás. A primeira simulação foi feita a partir da rota executada empiricamente pelos motoristas, através do seu conhecimento geográfico da região e da sua experiência quanto à capacidade de coleta dos veículos utilizados. Uma segunda análise foi feita através de uma nova distribuição dos bolsões, levando em consideração também a capacidade útil dos veículos coletores, e a divisão dos bolsões nas regiões leste e oeste da cidade em estudo.

Resolver os problemas de rotas de Resíduos Sólidos Urbanos é uma tarefa complexa pelas restrições das vias, a falta de recursos e a inexistência de um banco de dados, o que muitas vezes inviabiliza uma solução adequada do problema. As reduções nas distâncias totais percorridas pelos veículos de coleta mostradas neste trabalho chegaram a 40% 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, neste trabalho alcançou a redução de 26.400km. O uso dessa ferramenta deve extrapolar pesquisas acadêmicas e passar a ser aplicada como suporte ao planejamento prático das rotas nas cidades.

Fica evidente que os métodos matemáticos utilizados para resolução de problemas de roteirização permitem resolver quantitativamente o procedimento de criação de itinerários de coleta eficientes, atendendo as restrições práticas dos centros urbanos. O planejamento das rotas com a utilização do ArqGis é um método de melhoramento contínuo do processo de transporte. As informações geradas pelo software, quando alimentado com uma base de dados de referência atualizada, permite aperfeiçoar o serviço de geração de rotas o que serve como referência para a tomada de decisões por parte dos gestores.

Espera-se que este trabalho contribua para a resolução do problema de roteirização com muitos pontos de parada e para o desenvolvimento de pesquisas futuras nesta área. Diminuir o custo com transportes em uma atividade que consome uma fatia considerável dos recursos da administração pública, em um país que ainda não consegue atender todos os indivíduos, especialmente os de baixa renda, que são naturalmente excluídos de pontos

de fácil acesso, não significa apenas um serviço mais eficiente. Significa saúde, dignidade e qualidade de vida a uma considerável parte da população brasileira que só tem acesso à moradia nas periferias e marginal dos centros urbanos.

6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros recomenda-se:

- Inserir os pontos início e fim das rotas para que o software gere o comprimento total, sem a necessidade de acrescentar distâncias;
- Testar outro software de SIG, como o TransCad, para comparar as rotas;
- Utilizar o SIG como ferramenta de aperfeiçoamento de outros serviços dentro das cidades que realizam coleta ou entrega, como ônibus escolar, varredura de ruas ou distribuição de rotas para coleta de resíduos de lixeiras comerciais.

7. REFERÊNCIAS

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

ABNT_____ - **NBR 10.006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. ABNT. 3p.

ABNT_____ - **NBR 10.007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. ABNT. 21p.

ABRELPE: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2017. 74p.

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

ARCGIS DESKTOP, 2019. Disponível em:

<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/types-of-network-analyses.htm>. Acesso em: 15/10/2019.

AUGUSTO, R.F.B., BRASILEIRO, L.A. Uso de Sistema de Informação Geográfica para a Análise do Transporte e Disposição final de Resíduos Sólidos, In: **II Simpósio Brasileiro de Geomática – V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, Presidente Prudente – SP, p. 784-789, 24-27 de julho 2007.

BALLOU, R. H. Logística empresarial: transporte, administração de materiais e distribuição física. São Paulo: Atlas, 1993.

BARÃO, F.R; KRIPKA, M; KRIPKA, R. M. L. Determinação da rota ótima para a coleta de resíduos sólidos urbanos no município de Passo Fundo - RS. In: **XXXI Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional**. p. 637 – 643. Belém - PA, 2008

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.

BRANCO, F.J.C., GIGIOLI, O. A.. Roteirização de transporte de carga. Estudo de caso: distribuidora de tintas e seu método de entregas. **Revista FAE**, v 17, n. 2, p. 56 – 81, Curitiba, 2014.

BRASIL, Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 3. ed. rev. – Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Modelo de gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2000.

BRASILEIRO, Luzenira A. **Análise do Roteamento de Veículos na Coleta de Resíduos Domésticos, Comerciais e de Serviços de Saúde**. 2004. 94f. Tese (Livre-Docência), Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2004.

BRITO, R.A.F. **Uso de sistema de informação geográfica para análise do transporte e disposição final dos resíduos sólidos**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ilha Solteira. 2006, 89p.

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

CASTRO, L.B. **Avaliação do serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares em cidade de médio porte utilizando o sistema de informações geográficas e receptores do sistema de posicionamento global**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia – MG, 2006. 157p.

CHIAVENATO, I. **Teoria geral da administração**. 8 ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2011, 640p.

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.

CUNHA, C.B. Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais. **Revista Transportes**. V. 8, n. 2, p. 51-74, 2000.

DAMASCENO, D. Q.; MARAGNO, A. L. F. C. Gestão de resíduos sólidos no Distrito de Tapuirama, Uberlândia (MG). In: **Seminário Nacional de Resíduos Sólidos**, 7., São Paulo, 2004.

ECYCLE. 2019. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/>. Acesso: 8/06/2019.

FADINI, P.S.; FADINI, A.A.B. **Lixo: desafios e compromissos**. Cadernos temáticos de Química Nova na Escola. Sociedade Brasileira de Química. Nº 1. São Paulo, 2001. p. 9-18.

FERRARI, R. Viagem ao SIG. **Planejamento Estratégico, Viabilização, Implantação e Gerenciamento de Sistemas de Informações Geográfica**. Curitiba. Sagres, 1997, 178 p.

FUNASA: FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Orientações Técnicas para Elaboração de Propostas para o Programa de Resíduos Sólidos**. 1º ed. Brasília: Funasa 2017, 48p.

GLOBO CIÊNCIA. 2012. Disponível em: <http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2011/12/entenda-o-enigma-das-pontes-de-konigsberg-que-instigou-geometria.html>. Acesso: 15/03/2019

GOOGLEMAPS. 2019. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/Silv%C3%A2nia+-+GO/@-16.595995,-48.6980618,10.96z/data=!4m5!3m4!1s0x93592ed4c2d7ed43:0xac95fa066d2fa3f!8m2!3d-16.6604527!4d-48.6101409>.

GUIA DO TURISMO BRASIL. 2019. Disponível em: <https://www.guiadoturismobrasil.com/cidade/GO/406/silvania>. Acesso: 10/09/2019

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - **IBGE** . 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/go/silvania.html>. Acesso em: 07/06/2019

INSTITUTO MAURO BORGES. 2019. Disponível em: <http://www.imb.go.gov.br/>. Acesso em: 15/07/2019.

JORNAL DIÁRIO DA MANHÃ, 2018. Disponível em: <https://www.dm.com.br/tag/silvania/>. Acesso: 20/07/2019.

LACERDA, M. G. **Análise de uso de SIG no sistema de coleta de resíduos sólidos domiciliares uma cidade de pequeno porte.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2003. 158p.

LIMA, R. S. **Bases para uma metodologia de apoio à decisão de para serviços de educação e saúde sob a ótica dos transportes.** 2003. Tese (Doutorado em Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. 215p.

LIMA, R.S; LIMA, J.P.; SILVA, T.V.V. Roteirização em arcos com um sistema de informações geográficas para transportes: aplicação em coleta de resíduos sólidos urbanos. **Journal of Transport Literature**, Vol. 6, n. 2, pp. 180-196, Abril, 2012.

LISBOA, J. F.; COSTA, A. C.; IOCHPE, C. **Projeto de Banco de Dados Geográficos: mapeando esquemas GeoFrame para o SIG Spring.** Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Informática, Campus Universitário, Viçosa - MG, 1999. 4p.

LOGÍSTICA DESCOMPLICADA. 2010. Disponível em: <https://www.logisticadescomplicada.com/?s=CAIXEIRO+VIAJANTE>. Acesso: 07/03/2019.

MIGUEL, M. Luis; FIGUEIREDO, F. Rui; **Desenvolvimento de um sistema de Informação geográfica para a gestão de dados relativos a expropriações. O caso do Metro do Porto.** Relatório de Estágio do Mestrado em Tecnologias de Informação Geográfica. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, Coimbra – Portugal, 2017.

MORO, M.F., **O problema do Carteiro Chinês aplicado na otimização de rotas usadas na coleta de lixo reciclável: um estudo de caso.** TCC de Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira, 2014, 59p.

MOTA, J.A., ALVAREZ, A.R. (Coord). Plano Nacional de Resíduos Sólidos. p.109. Brasília, 2012

NITHYA, R., VELUMANI, A. **Optimal Location and Proximity Distance of Municipal Solid Waste Collection Bin Using GIS: a Case Study of Coimbatore City.** Wseas Transactions on Environment and Development. Department of Civil Engineering Avinashilingam University Tamil nadu, India, p. 107-119, 2012.

NOVAES, A.G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição.** 3ª Ed. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Elsevier, 2007

O'Connor, D. L. (2013). Solid Waste Collection Vehicle Route Optimization for the City of Redlands, California (Master's thesis, University of Redlands). Disponível em: http://inspire.redlands.edu/gis_gradproj/201. Acesso: 06/09/2019

OLIVEIRA, K.R. **Determinação de Melhores Rotas para Escoamento de Madeira de Eucalipto em Áreas de Cnibra-AS**. Monografia (Especialização em Gestão Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014, p33.

ONU. **Centro de Notícias das Nações Unidas** (Traduzido por UNRIC). 2019. Disponível em: <https://www.unric.org/pt/actualidade/31160-relatorio-das-nacoes-unidas-estimaque-a-populacao-mundial-alcance-os-96-mil-milhoes-em-2050->. Acesso em 06/08/2019.

OPENSTREETMAP, 2019. Disponível em: <https://www.openstreetmap.org/search?query=silvania%20go#map=15/-16.6698/-48.5976>. Acesso: 10/07/2019

O REGIONAL. 2015. Disponível em: <http://oregionalpr.com.br/2015/03/garis-de-curitiba-rejeitam-proposta-mas-vao-fazer-coleta-parcial-do-lixo/>. Acesso: 04/05/2019.

ORSATI,AS. **Análise de impactos ambientais e econômicos na escolha de locais para disposição final de resíduos sólidos**. Dissertação (Mestrado) UNESP -Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 75 p.,2006.

PAES, F.G. **Otimização de Rotas para Coleta de Lixo Doméstico: um tratamento grasp do Problema do Carteiro Chinês Misto (PCCM)**. Dissertação para grau de Mestre em Ciências de Engenharia. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. Campos dos Goytacazes, RJ. 2004. 129p.

PASCOAL Jr., Alcides; OLIVEIRA FILHO, Paulo Costa. **Análise de Rotas de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares com o Uso de Geoprocessamento**. Revista Acadêmica, Ciências Agrárias e Ambientais, Curitiba, v. 8, nº 2, Abril/Junho, 2010.

PINTO, C. de L.B. **Modelagem de opções reais com processos de reversão à média em tempo discreto: uma aplicação na indústria brasileira de etanol**. Tese (Doutorado em Administração). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009, p164.

PIRES, S. R. I. **Gestão da Cadeia de Suprimentos**. São Paulo, 2007. 303p. Editora Atlas S.A.

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/politica-nacional-de-residuos-solidos>. Acesso: 15/04/20129.

RAVAGNOLLI, L. L.; **Roteirizadores para operadores Logísticos: definição e apresentação**. Centro Paula Souza, Jaú. 2006. 86p.

REZENDE, J. H. et al. **Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP)**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 18, n. 1, 2013.

SIEG - **Sistema Estadual de Geoinformação**. 2018, Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/>. Acesso: 21/07/2019.

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.

VILHENA A., D'ALMEIDA, M.L.O (Coord.). **Lixo Municipal – Manual de Gerenciamento Integrado**. 2ª ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE, (Publicação IPT). 2000. 370p.

VILHENA, A. (Coord.) **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. 4 ed. Brasília CEMPRE, Brasília, 2018.

VILHENA, A. (Coord.). **Guia da coleta seletiva de lixo**. Brasília. CEMPRE, 2002.

WU, Luciele. **O problema de roteirização periódica de veículos**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007, 109p.

ZVEIBIL, V. Z. (Coord.). **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos - Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001, 200p.

ANEXO

da Costa

Campos / Rua Joao Correia Bittencourt

< 0,1 km < 1 min

3: Turn left on Rua Joao Correia Bittencourt < 0,1 km < 1 min

4: Arrive at Rua Joao Correia Bittencourt3, on the left

5: Depart Rua Joao Correia Bittencourt3

6: Continue southeast on Rua Joao Correia Bittencourt

< 0,1 km < 1 min

7: Make U-turn at Rua Adonias Leme do

Prado and go back on Rua Joao Correia Bittencourt

< 0,1 km < 1 min

8: Arrive at Rua Joao Correia Bittencourt5, on the right

9: Depart Rua Joao Correia Bittencourt5

10: Continue northwest on Rua Joao Correia Bittencourt

< 0,1 km < 1 min

11: Make sharp left on Rua Astrogenilo Braga 0,2 km < 1 min

12: Arrive at Rua Astrogenilo Braga2, on the left

13: Depart Rua Astrogenilo Braga2

14: Continue southwest on Rua Astrogenilo Braga

0,2 km < 1 min

15: Turn left < 0,1 km < 1 min

16: Arrive at 7, on the left

17: Depart 7

18: Continue southeast 0,2 km < 1 min

19: Make U-turn and go back < 0,1 km < 1 min

20: Arrive at 13, on the right

21: Depart 13

22: Continue northwest < 0,1 km < 1 min

23: Turn right on Rua Acacio Batista Da Silva 0,1 km < 1 min

24: Arrive at Rua Acacio Batista Da Silva1, on the left

25: Depart Rua Acacio Batista Da Silva1

26: Continue northeast on Rua Acacio Batista Da Silva

0,1 km < 1 min

27: Turn left on Rua Joao Correia Bittencourt < 0,1 km < 1 min

28: Arrive at Rua Joao Correia Bittencourt4, on the right

29: Depart Rua Joao Correia Bittencourt4

Driving Directions Página 1 de 9

file:///C:/Users/Aluno/AppData/Local/Temp/arc9721\htm24E7.tmp.htm 13/11/2019

30: Continue northwest on Rua Joao Correia Bittencourt

< 0,1 km < 1 min

31: Make sharp left on Rua Adonias Leme do Prado

0,2 km < 1 min
 32: Arrive at Rua Adonias Leme do Prado², on the right
 33: Depart Rua Adonias Leme do Prado²
 34: Continue southwest on Rua Adonias Leme do Prado
 0,2 km < 1 min
 35: Turn right < 0,1 km < 1 min
 36: Arrive at 21, on the left
 37: Depart 21
 38: Continue northwest < 0,1 km < 1 min
 39: Turn right on Rua Argeu da Costa Campos 0,2 km < 1 min
 40: Arrive at Rua Argeu da Costa Campos¹, on the left
 41: Depart Rua Argeu da Costa Campos¹
 42: Continue northeast on Rua Argeu da Costa Campos
 0,2 km < 1 min
 43: Make sharp left on Avenida Maria da Conceição
 < 0,1 km < 1 min
 44: Arrive at Avenida Maria da Conceição², on the right
 45: Depart Avenida Maria da Conceição²
 46: Continue northwest on Avenida Maria da Conceição
 < 0,1 km < 1 min
 47: Turn right on Rua Dario Venerando de Souza
 < 0,1 km < 1 min
 48: Arrive at Rua Dario Venerando de Souza, on the left
 49: Depart Rua Dario Venerando de Souza
 50: Continue northeast on Rua Dario Venerando de Souza
 < 0,1 km < 1 min
 51: Turn left on Rua Joao Correia Bittencourt < 0,1 km < 1 min
 52: Arrive at Rua Joao Correia Bittencourt⁷, on the left
 53: Depart Rua Joao Correia Bittencourt⁷
 54: Continue northwest on Rua Joao Correia Bittencourt
 < 0,1 km < 1 min
 55: Make sharp left on Rua Elci Miranda de Oliveira
 0,4 km < 1 min
 56: Make U-turn and go back on Rua Elci Miranda de Oliveira
 0,2 km < 1 min
 Driving Directions Página 2 de 9
 file:///C:/Users/Aluno/AppData/Local/Temp/arc9721/htm24E7.tmp.htm 13/11/2019
 57: Arrive at Rua Elci Miranda de Oliveira, on the left

58: Depart Rua Elci Miranda de Oliveira
 59: Continue northeast on Rua Elci Miranda de Oliveira
 0,2 km < 1 min
 60: Arrive at Rua Elci Miranda de Oliveira2, on the right
 61: Depart Rua Elci Miranda de Oliveira2
 62: Continue northeast on Rua Elci Miranda de Oliveira
 < 0,1 km < 1 min
 63: Turn left on Rua Joao Correia Bittencourt < 0,1 km < 1 min
 64: Arrive at Rua Joao Correia Bittencourt6, on the right
 65: Depart Rua Joao Correia Bittencourt6
 66: Continue northwest on Rua Joao Correia Bittencourt
 < 0,1 km < 1 min
 67: Arrive at Rua Joao Correia Bittencourt2, on the right
 68: Depart Rua Joao Correia Bittencourt2
 69: Continue northwest on Rua Joao Correia Bittencourt
 < 0,1 km < 1 min
 70: Make sharp right to stay on Rua Joao Correia Bittencourt
 0,2 km < 1 min
 71: Arrive at Rua Joao Correia Bittencourt, on the right
 72: Depart Rua Joao Correia Bittencourt
 73: Continue southeast on Rua Joao Correia Bittencourt
 < 0,1 km < 1 min
 74: Turn right on Rua Astrogésilo Braga < 0,1 km < 1 min
 75: Arrive at Rua Astrogésilo Braga, on the right
 76: Depart Rua Astrogésilo Braga
 77: Continue southwest on Rua Astrogésilo Braga
 < 0,1 km < 1 min
 78: Turn right on Avenida Maria da Conceição < 0,1 km < 1 min
 79: Arrive at Avenida Maria da Conceição4, on the left
 80: Depart Avenida Maria da Conceição4
 81: Continue northwest on Avenida Maria da Conceição
 < 0,1 km < 1 min
 82: Arrive at Avenida Maria da 3, on the right
 83: Depart Avenida Maria da 3
 84: Continue northwest on Avenida Maria da < 0,1 km < 1 min
 Driving Directions Página 3 de 9
 file:///C:/Users/Aluno/AppData/Local/Temp/arc9721\htm24E7.tmp.htm 13/11/2019
 Conceição
 85: Arrive at Avenida Maria da Conceição6,

on the left

86: Depart Avenida Maria da Conceição6

87: Continue northwest on Avenida Maria da Conceição

< 0,1 km < 1 min

88: Arrive at Avenida Maria da Conceição5, on the right

89: Depart Avenida Maria da Conceição5

90: Continue northwest on Avenida Maria da Conceição

< 0,1 km < 1 min

91: Arrive at Avenida Maria da Conceição1, on the left

92: Depart Avenida Maria da Conceição1

93: Continue northwest on Avenida Maria da Conceição

< 0,1 km < 1 min

94: Make U-turn at Viela Doze and go back on Avenida Maria da Conceição

0,1 km < 1 min

95: Turn left on Rua Joao Correia Bittencourt < 0,1 km < 1 min

96: Arrive at Rua Joao Correia Bittencourt1, on the right

97: Depart Rua Joao Correia Bittencourt1

98: Go northeast on Rua Joao Correia Bittencourt

< 0,1 km < 1 min

99: Turn left 0,1 km < 1 min

100: Make U-turn and go back < 0,1 km < 1 min

101: Arrive at 6, on the left

102: Depart 6

103: Continue southwest < 0,1 km < 1 min

104: Make sharp left on Rua Joao Correia Bittencourt and immediately turn right on Rua Elias Gonzaga

0,1 km < 1 min

105: Arrive at Rua Elias Gonzaga2, on the left

106: Depart Rua Elias Gonzaga2

107: Continue southwest on Rua Elias Gonzaga 0,2 km < 1 min

108: Arrive at Rua Elias Gonzaga, on the right

109: Depart Rua Elias Gonzaga

110: Continue southwest on Rua Elias Gonzaga 0,2 km < 1 min

111: Turn left < 0,1 km < 1 min

112: Arrive at 12, on the left

113: Depart 12

114: Continue southeast < 0,1 km < 1 min

Driving Directions Página 4 de 9

file://C:\Users\Aluno\AppData\Local\Temp\arc9721\htm24E7.tmp.htm 13/11/2019

115: Make U-turn at Rua Elci Miranda de Oliveira and go back

< 0,1 km < 1 min

116: Arrive at 11, on the right

117: Depart 11

118: Continue northwest < 0,1 km < 1 min
 119: Turn left on Avenida Oscar Caetano do Nascimento
 0,1 km < 1 min
 120: Arrive at Avenida Oscar Caetano do Nascimento, on the right
 121: Depart Avenida Oscar Caetano do Nascimento
 122: Continue south on Avenida Oscar Caetano do Nascimento
 0,1 km < 1 min
 123: Arrive at Avenida Oscar Caetano do Nascimento1, on the left
 124: Depart Avenida Oscar Caetano do Nascimento1
 125: Continue south on Avenida Oscar Caetano do Nascimento
 < 0,1 km < 1 min
 126: Turn left < 0,1 km < 1 min
 127: Arrive at 10, on the left
 128: Depart 10
 129: Continue southeast < 0,1 km < 1 min
 130: Arrive at 20, on the left
 131: Depart 20
 132: Continue southeast < 0,1 km < 1 min
 133: Arrive at 19, on the left
 134: Depart 19
 135: Continue southeast < 0,1 km < 1 min
 136: Arrive at 15, on the left
 137: Depart 15
 138: Continue southeast < 0,1 km < 1 min
 139: Arrive at 18, on the left
 140: Depart 18
 141: Continue southeast < 0,1 km < 1 min
 142: Arrive at 17, on the left
 143: Depart 17
 144: Continue southeast < 0,1 km < 1 min
 145: Arrive at 16, on the right
 146: Depart 16
 147: Continue southeast < 0,1 km < 1 min
 Driving Directions Página 5 de 9
 file:///C:/Users/Aluno/AppData/Local/Temp/arc9721\htm24E7.tmp.htm 13/11/2019
 148: Turn left on Rua Enegenheiro Ricardo da Silva
 < 0,1 km < 1 min
 149: Arrive at Rua Enegenheiro Ricardo da Silva4, on the left
 150: Depart Rua Enegenheiro Ricardo da Silva4
 151: Continue northeast on Rua Enegenheiro Ricardo da Silva
 < 0,1 km < 1 min
 152: Arrive at Rua Enegenheiro Ricardo da Silva3, on the left

153: Depart Rua Enegenheiro Ricardo da Silva3
 154: Continue northeast on Rua Enegenheiro Ricardo da Silva
 < 0,1 km < 1 min
 155: Make sharp left < 0,1 km < 1 min
 156: Make U-turn at Rua Adonias Leme do Prado and go back
 < 0,1 km < 1 min
 157: Arrive at 4, on the right
 158: Depart 4
 159: Continue southeast < 0,1 km < 1 min
 160: Turn left on Rua Acacio Batista Da Silva < 0,1 km < 1 min
 161: Arrive at Rua Acacio Batista Da Silva, on the right
 162: Depart Rua Acacio Batista Da Silva
 163: Continue northeast on Rua Acacio Batista Da Silva
 < 0,1 km < 1 min
 164: Turn left < 0,1 km < 1 min
 165: Arrive at 22, on the right
 166: Depart 22
 167: Continue northwest < 0,1 km < 1 min
 168: Turn left on Rua Adonias Leme do Prado < 0,1 km < 1 min
 169: Arrive at Rua Adonias Leme do Prado, on the left
 170: Depart Rua Adonias Leme do Prado
 171: Continue southwest on Rua Adonias Leme do Prado
 0,1 km < 1 min
 172: Arrive at Rua Adonias Leme do Prado1, on the left
 173: Depart Rua Adonias Leme do Prado1
 174: Continue southwest on Rua Adonias Leme do Prado
 < 0,1 km < 1 min
 175: Bear right on Rua Enegenheiro Ricardo da Silva
 < 0,1 km < 1 min
 176: Turn right < 0,1 km < 1 min
 Driving Directions Página 6 de 9
 file:///C:/Users/Aluno/AppData/Local/Temp/arc9721\htm24E7.tmp.htm 13/11/2019
 177: Turn right on Rua Astrogasillo Braga 0,1 km < 1 min
 178: Arrive at Rua Astrogasillo Braga1, on the left
 179: Depart Rua Astrogasillo Braga1
 180: Continue northeast on Rua Astrogasillo Braga
 0,1 km < 1 min
 181: Turn right and immediately turn right on Rua Argeu da Costa Campos
 0,2 km < 1 min
 182: Arrive at Rua Argeu da Costa Campos, on the right

183: Depart Rua Argeu da Costa Campos
 184: Continue southwest on Rua Argeu da Costa Campos
 0,1 km < 1 min
 185: Turn left and immediately make sharp right on Rua Enegenheiro Ricardo da Silva
 < 0,1 km < 1 min
 186: Arrive at Rua Enegenheiro Ricardo da Silva, on the left
 187: Depart Rua Enegenheiro Ricardo da Silva
 188: Continue southwest on Rua Enegenheiro Ricardo da Silva
 0,1 km < 1 min
 189: Arrive at Rua Enegenheiro Ricardo da Silva1, on the left
 190: Depart Rua Enegenheiro Ricardo da Silva1
 191: Continue southwest on Rua Enegenheiro Ricardo da Silva
 < 0,1 km < 1 min
 192: Turn right to stay on Rua Enegenheiro Ricardo da Silva
 < 0,1 km < 1 min
 193: Make U-turn at Rua Geraldo Gomes dos Santos and go back on Rua Enegenheiro Ricardo da Silva
 < 0,1 km < 1 min
 194: Arrive at 3, on the left
 195: Depart 3
 196: Continue southeast on Rua Enegenheiro Ricardo da Silva
 < 0,1 km < 1 min
 197: Turn right to stay on Rua Enegenheiro Ricardo da Silva
 0,1 km < 1 min
 198: Arrive at 222, on the right
 199: Depart 222
 200: Continue southwest on Rua Enegenheiro Ricardo da Silva
 0,1 km < 1 min
 201: Turn right < 0,1 km < 1 min
 202: Arrive at 1, on the right
 203: Depart 1
 Driving Directions Página 7 de 9
 file:///C:/Users/Aluno/AppData/Local/Temp/arc9721/htm24E7.tmp.htm 13/11/2019
 204: Continue north 0,3 km < 1 min
 205: Arrive at 5, on the right
 206: Depart 5
 207: Continue north 0,2 km < 1 min
 208: Make U-turn at Avenida Oscar Caetano do Nascimento and go back
 0,4 km < 1 min
 209: Turn left on Rua Geraldo Gomes dos Santos

0,1 km < 1 min
 210: Arrive at Rua Geraldo Gomes dos Santos2,
 on the left
 211: Depart Rua Geraldo Gomes dos Santos2
 212: Continue northeast on Rua Geraldo Gomes
 dos Santos
 0,2 km < 1 min
 213: Arrive at Rua Geraldo Gomes dos Santos,
 on the left
 214: Depart Rua Geraldo Gomes dos Santos
 215: Continue northeast on Rua Geraldo Gomes
 dos Santos
 < 0,1 km < 1 min
 216: Turn right to stay on Rua Geraldo Gomes
 dos Santos
 < 0,1 km < 1 min
 217: Arrive at 2, on the left
 218: Depart 2
 219: Continue southeast on Rua Geraldo Gomes
 dos Santos
 < 0,1 km < 1 min
 220: Make U-turn at Rua Enegenheiro Ricardo
 da Silva and go back on Rua Geraldo
 Gomes dos Santos
 < 0,1 km < 1 min
 221: Arrive at Rua Geraldo Gomes dos Santos1,
 on the right
 222: Depart Rua Geraldo Gomes dos Santos1
 223: Continue north on Rua Geraldo Gomes dos
 Santos
 < 0,1 km < 1 min
 224: Turn left and immediately turn right on
 Rua Dario Venerando de Souza
 0,2 km < 1 min
 225: Arrive at Rua Dario Venerando de Souza1,
 on the right
 226: Depart Rua Dario Venerando de Souza1
 227: Continue northeast on Rua Dario
 Venerando de Souza
 0,3 km < 1 min
 228: Arrive at Rua Dario Venerando de Souza2,
 on the left
 229: Depart Rua Dario Venerando de Souza2
 230: Continue northeast on Rua Dario 0,2 km < 1 min
 Driving Directions Página 8 de 9
 file:///C:/Users/Aluno/AppData/Local/Temp/arc9721/htm24E7.tmp.htm 13/11/2019
 Venerando de Souza
 231: Turn right on Avenida Maria da Conceição
 and immediately turn right on Rua
 Astrogésilo Braga
 0,4 km < 1 min
 232: Turn right < 0,1 km < 1 min
 233: Arrive at 9, on the right

234: Depart 9
235: Continue northwest < 0,1 km < 1 min
236: Arrive at 8, on the right
237: Depart 8
238: Continue northwest < 0,1 km < 1 min
239: Turn left on Rua Elci Miranda de Oliveira 0,1 km < 1 min
240: Arrive at Rua Elci Miranda de Oliveira1, on
the left
241: Depart Rua Elci Miranda de Oliveira1
242: Continue southwest on Rua Elci Miranda de
Oliveira
0,1 km < 1 min
243: Turn right and immediately turn right on
Rua Elias Gonzaga
0,2 km < 1 min
244: Arrive at Rua Elias Gonzaga1, on the right
245: Depart Rua Elias Gonzaga1
246: Continue northeast on Rua Elias Gonzaga 0,1 km < 1 min
247: Turn left < 0,1 km < 1 min
248: Turn left on Avenida Oscar Caetano do
Nascimento
0,2 km < 1 min
249: Turn right on Rua 16 0,4 km < 1 min
250: Turn right < 0,1 km < 1 min
251: Turn left on Rua Dois 0,2 km < 1 min
252: Finish at chegada, on the left
Total time: < 1 min
Total distance: 12,1 km
Start time: 13/11/2019 08:00
Finish time: 13/11/2019 08:00
Driving Directions Página 9 de 9

file://C:\Users\Aluno\AppData\Local\Temp\