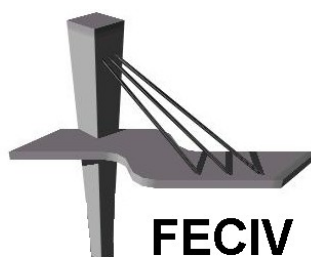


DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

018

**AVALIAÇÃO DO SERVIÇO DE COLETA DE  
RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES EM  
CIDADE DE MÉDIO PORTE UTILIZANDO  
SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E  
RECEPTORES DO SISTEMA DE  
POSICIONAMENTO POR SATÉLITE**

LEONARDO BORGES CASTRO



**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**



**Leonardo Borges Castro**

**AVALIAÇÃO DO SERVIÇO DE COLETA DE RESÍDUOS  
SÓLIDOS DOMICILIARES EM CIDADE DE MÉDIO  
PORTE UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES  
GEOGRÁFICAS E RECEPTORES DO SISTEMA DE  
POSICIONAMENTO POR SATÉLITE**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Faria**

Uberlândia, 17 de fevereiro de 2006.

## FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de Catalogação e Classificação

C355a Castro, Leonardo Borges, 1975-

Avaliação do serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares em cidade de médio porte utilizando sistemas de informações geográficas e receptores do sistema de posicionamento por satélite / Leonardo Borges Castro. - Uberlândia, 2006.

141f. : il.

Orientador: Carlos Alberto Faria.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui bibliografia.

1. Resíduos sólidos - Teses. 2. Veículos de coleta de lixo - Teses. 3. SIG (Programa de computador) - Teses. 4. Sistema de posicionamento global - Teses. I. Faria, Carlos Alberto. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 628.54

*Aos meus pais e à minha noiva pelo amor, carinho e  
compreensão em todos os momentos de minha vida.*

# AGRADECIMENTOS

---

Agradeço a Deus, pela minha vida que é cheia de tantas graças e felicidades.

Aos meus pais e à minha irmã, que me apóiam sempre e me ajudam todos os dias, com amor, carinho e dedicação.

À minha noiva Juliana, pelo incentivo, pelo seu amor e por iluminar a minha vida com o seu constante exemplo de vida.

Ao meu orientador, Carlos Alberto Faria, pelas idéias e empenho no desenvolvimento da dissertação e pela confiança e amizade desde a graduação.

À família da Juliana: Agostinho, Ely, Augusta, Denise, Vanusa, Maria e Alice que sempre me acolheram em sua casa e fazem de tudo para que eu me sinta muito bem. O apoio de todos foi fundamental.

Aos meus colegas de trabalho, em especial à equipe da Superintendência de Água e Esgotos de Ituiutaba, aos colegas Flávio Cury e José dos Reis Barbosa do Departamento de Serviços Públicos, e ao Secretário Municipal de Obras e Serviços Públicos, Hermes Gomes de Moraes.

Às grandes amigas, Cristina Garvil e Margareth Elias Campos, que me incentivam e apóiam e com quem eu tenho o prazer de compartilhar lutas e conquistas.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Civil, que forneceram o apoio necessário à realização da pesquisa.

Castro, L. B. Avaliação do serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares em cidade de médio porte utilizando sistemas de informações geográficas e receptores do sistema de posicionamento por satélite. 141 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

## RESUMO

---

Este trabalho apresenta o estudo de caso do serviço de coleta de lixo realizado de segunda-feira a sábado pela Prefeitura Municipal na área central da cidade de Ituiutaba (MG), que possui aproximadamente 90.000 habitantes. Para caracterizar o problema, foi realizado mapeamento dos setores e das rotas de coleta de lixo da área em estudo com a utilização de receptores do sistema GPS e o *software* GPS TrackMaker para o tratamento e obtenção dos dados de distâncias percorridas, tempos e velocidades de percurso. Em seguida, utilizou-se o Sistema de Informações Geográficas – SIG como ferramenta para roteirização de veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares. O *software* utilizado foi o TransCAD versão 4.5 *Academic License*, que é um SIG específico para aplicações em problemas de transporte e possibilita o desenvolvimento de rotas utilizando-se algoritmos de roteirização em arco (*Arc Routing*). A utilização de receptores do sistema GPS mostrou-se uma alternativa bastante eficaz para a realização de mapeamentos, em especial para a coleta de informações sobre rotas e itinerários realizados pelos veículos. Os dados obtidos com a rotina mostraram redução de aproximadamente 44% nas repetições de trechos já servidos pela coleta de lixo, redução de 71% no custo com a mão-de-obra para a realização dos serviços e redução das distâncias percorridas em aproximadamente 68%, em relação à situação atual.

**Palavras-chave:** resíduos sólidos, coleta domiciliar, GPS, roteirização de veículos, SIG.

Castro, L. B. Evaluation of the domestic solid waste collection service in a medium sized city using Geographical Information Systems and Global Positioning System receivers. 141 p. MSc Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2006.

## ABSTRACT

---

This work presents the case study of the domestic waste collection from Monday to Saturday done by City Hall in downtown of Ituiutaba City (MG) which has almost 90.000 inhabitants. To characterize this problem, mapping of the sectors and routes were done in this area with Global Positioning System (GPS) receivers and the software GPS TrackMaker was used for data support to calculate distances, times and speeds. Afterwards, the Geographical Information System (GIS) was used as tool for vehicle routing in waste collection service. The TransCAD release 4.5 which is a transportation GIS, known GIS-T, was running for arc routing procedures. The use of GPS receivers showed itself as an important and efficay tool for data collection and mapping the routes travelled by the vehicles. The results of TransCAD running showed 44 % reduction in link overpass, 71 % reduction in labor and 68 % reduction in distances travelled comparing the current situation.

**Keywords:** solid waste, domestic collection, GPS, vehicle routing, GIS.

# LISTA DE FIGURAS

---

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Produção de lixo domiciliar per capita .....                                                                                    | 17 |
| Figura 2: Representações Matricial e Vetorial de mapas .....                                                                              | 31 |
| Figura 3: Grafo ou rede orientada.....                                                                                                    | 34 |
| Figura 4: Grafo ou rede não orientada.....                                                                                                | 34 |
| Figura 5: Grafo ou rede mista.....                                                                                                        | 34 |
| Figura 6: Representações das distâncias Euclideana e Retangular.....                                                                      | 39 |
| Figura 7: Localização do município de Ituiutaba .....                                                                                     | 59 |
| Figura 8: Estrutura funcional do Departamento de Serviços Públicos – Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos de Ituiutaba ..... | 60 |
| Figura 9: Setores de Coleta de Lixo, Cenário Atual – Ituiutaba (MG) .....                                                                 | 64 |
| Figura 10: Setor de Coleta nº 09 / GPS TrackMaker, cenário atual.....                                                                     | 69 |
| Figura 11: Setores de coleta da área central / GPS TrackMaker, cenário atual .....                                                        | 70 |
| Figura 12: Setor de coleta 02.....                                                                                                        | 72 |
| Figura 13: Setor de coleta 09.....                                                                                                        | 73 |
| Figura 14: Setor de coleta 10.....                                                                                                        | 74 |
| Figura 15: Setor de coleta 12.....                                                                                                        | 75 |
| Figura 16 Setor de coleta 18+19.....                                                                                                      | 76 |
| Figura 17: Setor de coleta 23.....                                                                                                        | 77 |
| Figura 18: Setor de coleta 26.....                                                                                                        | 78 |
| Figura 19: Malha viária da área do estudo e suas ligações principais com a Garagem e o Aterro Sanitário .....                             | 84 |
| Figura 20: Resultado da aplicação da rotina de roteamento em arco (Alternativa 1) .....                                                   | 94 |
| Figura 21: Resultado da aplicação da rotina de roteamento em arco (Alternativa 2) .....                                                   | 95 |
| Figura 22: Distâncias percorridas no setor e repetições sobre trechos já servidos da área do estudo.....                                  | 98 |

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 23: Distâncias percorridas Garagem/Setor, Setor/Disposição Final e Disposição Final/Garagem .....                        | 98  |
| Figura 24: Número de servidores da coleta de lixo para a situação atual e nova situação gerada pelo TransCAD .....              | 100 |
| Figura 25: Despesas com salários das equipes de coleta de lixo para a situação atual e nova situação gerada pelo TransCAD ..... | 101 |

# LISTA DE TABELAS

---

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Classificação dos resíduos sólidos, segundo a sua origem.....                                                                  | 12 |
| Tabela 2: Composição dos resíduos sólidos domiciliares, em porcentagem de peso, em algumas cidades do Brasil .....                       | 14 |
| Tabela 3: Composição dos resíduos sólidos domiciliares, em porcentagem de peso, em alguns países .....                                   | 14 |
| Tabela 4: Exemplos de funções típicas de um SIG em prefeituras .....                                                                     | 48 |
| Tabela 5: Principais características de <i>softwares</i> comerciais .....                                                                | 51 |
| Tabela 6: Características dos problemas de roteirização e programação .....                                                              | 52 |
| Tabela 7: Composição dos resíduos sólidos domiciliares, na cidade de Ituiutaba.....                                                      | 61 |
| Tabela 8: Caracterização dos veículos utilizados para a coleta de lixo domiciliar .....                                                  | 65 |
| Tabela 9: Indicadores do mapeamento dos setores de coleta 02 e 09 da área central .....                                                  | 79 |
| Tabela 10: Indicadores do mapeamento dos setores de coleta 10, 12 e 18+19 da área central .....                                          | 80 |
| Tabela 11: Indicadores do mapeamento dos setores de coleta 23 e 26 da área central .....                                                 | 81 |
| Tabela 12: Parâmetros totais operacionais da área em estudo.....                                                                         | 82 |
| Tabela 13: Custo da mão-de-obra – equipe da coleta de lixo, na situação atual.....                                                       | 82 |
| Tabela 14: Campos preenchidos na base de dados do arquivo geográfico de pontos.....                                                      | 85 |
| Tabela 15: Campos preenchidos na base de dados do arquivo geográfico de linhas .....                                                     | 85 |
| Tabela 16: Pré-dimensionamento da quantidade de divisões na área do estudo, em função da estimativa de geração de resíduos na área ..... | 90 |
| Tabela 17: Parâmetros operacionais dos resultados da rotina de roteamento em arco.....                                                   | 96 |
| Tabela 18: Resumo dos parâmetros operacionais totais dos resultados da rotina de roteamento em arco .....                                | 96 |
| Tabela 19: Custo da mão-de-obra na situação gerada pelo TransCAD.....                                                                    | 97 |
| Tabela 20: Distâncias percorridas na situação atual mapeada com GPS e na gerada pelo TransCAD.....                                       | 97 |

Tabela 21: Despesas com a mão-de-obra necessária, na situação atual e na gerada pelo TransCAD..... 100

# SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

---

## SIGLAS

|               |                                                             |
|---------------|-------------------------------------------------------------|
| <i>ABNT</i>   | - Associação Brasileira de Normas Técnicas                  |
| <i>FEAM</i>   | - Fundação Estadual do Meio Ambiente                        |
| <i>FUNASA</i> | - Fundação Nacional de Saúde                                |
| <i>GPS</i>    | - <i>Global Positionig System</i>                           |
| <i>IBGE</i>   | - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística           |
| <i>OMS</i>    | - Organização Mundial da Saúde                              |
| <i>OPAS</i>   | - Organização Panamericana de Saúde                         |
| <i>PNSB</i>   | - Pesquisa Nacional sobre Saneamento Básico                 |
| <i>PRV</i>    | - Problema de Roteirização de Veículo                       |
| <i>PRPV</i>   | - Problema de Roteirização e Programação de Veículo         |
| <i>RSD</i>    | - Resíduos Sólidos Domiciliares                             |
| <i>RSU</i>    | - Resíduos Sólidos Urbanos                                  |
| <i>SAE</i>    | - Superintendência de Água e Esgotos de Ituiutaba           |
| <i>SIG</i>    | - Sistema de Informação Geográfica                          |
| <i>SIG-T</i>  | - Sistema de Informação Geográfica aplicado aos Transportes |
| <i>SNIS</i>   | - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento          |

# SUMÁRIO

---

|                                                                                    |            |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>1. Introdução.....</b>                                                          | <b>01</b>  |
| <b>2. Resíduos Sólidos Urbanos .....</b>                                           | <b>07</b>  |
| 2.1 O Saneamento Ambiental .....                                                   | 08         |
| 2.2 Definições, Classificações e Características .....                             | 10         |
| 2.3 Sistemas de Coleta e Transporte de Resíduos Sólidos Domiciliares .....         | 18         |
| 2.4 Disposição Final .....                                                         | 21         |
| <b>3. Sistemas de Informações Geográficas .....</b>                                | <b>24</b>  |
| 3.1 Histórico e Definições .....                                                   | 24         |
| 3.2 Tipos de Dados e Formas de Apresentação .....                                  | 28         |
| 3.3 Roteirização e Programação de Veículos .....                                   | 32         |
| 3.4 Sistema de Posicionamento Global – GPS .....                                   | 40         |
| 3.5 Aplicações dos Sistemas de Informações Geográficas .....                       | 45         |
| 3.5.1 Planejamento Urbano e Ambiental .....                                        | 45         |
| 3.5.2 Planejamento de Transportes .....                                            | 49         |
| <b>4. Estudo de Caso .....</b>                                                     | <b>58</b>  |
| 4.1 Local .....                                                                    | 58         |
| 4.2 Caracterização do Problema .....                                               | 62         |
| 4.3 Aplicação do <i>Software</i> TransCAD na Área de Estudo de Coleta de RSD ..... | 83         |
| 4.4 Resultados da Rotina de Roteamento em Arco .....                               | 93         |
| <b>5. Conclusões.....</b>                                                          | <b>102</b> |

|                                        |            |
|----------------------------------------|------------|
| <b>Referências Bibliográficas.....</b> | <b>107</b> |
| <b>Anexo A.....</b>                    | <b>112</b> |
| <b>Anexo B.....</b>                    | <b>127</b> |



# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUÇÃO**

Toda atividade humana gera resíduos sólidos. A crescente geração de lixo decorre do aumento da população mundial e do modelo atual de produção e de consumo. Os problemas causados pelos resíduos tendem a se tornar cada vez mais graves, em especial para as cidades. O aumento da população e de sua concentração nos centros urbanos, a forma, o ritmo da ocupação destes espaços e o modo de vida com base na produção e o consumo cada vez mais rápido de bens são fatores importantes para avaliarem esta realidade moderna (BRASIL, 2004).

A coleta e o manejo inadequado dos resíduos sólidos provoca problemas tanto de natureza ambiental, quanto social e de saúde pública. Segundo a Fundação Nacional de Saúde, os resíduos sólidos constituem problema sanitário porque favorecem a proliferação de vetores causadores de doenças, tais como diarreias infecciosas, amebíase, salmoneloses, ascaridíases, teníases e muitas outras. Ainda servem como criadouro de ratos transmissores de leptospirose e outras doenças e são locais de alimentação de animais, como cães, gatos, suínos, eqüinos e bovinos por conter água e alimentos em sua constituição (BRASIL, 2004).

Os problemas sociais advindos do manejo inadequado dos resíduos referem-se ao número crescente de seres humanos sobrevivendo da catação inadequada de materiais recicláveis em meio ao lixo e até mesmo de restos de comidas pelas ruas e lixões das cidades. A condição destas pessoas muitas vezes reflete a grave situação sócio-econômica do país, que faz com que esta atividade se torne o meio de sobrevivência de muitas pessoas.

A contaminação do ambiente natural, não só pelo depósito irregular de lixo, mas também pela falta de educação ambiental e cidadã de pessoas que lançam resíduos nos logradouros públicos, aliada à gestão inadequada da limpeza urbana nas cidades, tem provocado a deterioração da qualidade de vida em especial nos países em desenvolvimento.

De acordo com Rocha (1992) *apud* Aguiar e Philipi Jr (2004), a questão da destinação dos resíduos sólidos no Brasil data da época colonial. No início do século XX, os administradores públicos paulistanos enfrentavam problemas com o uso *in natura* do lixo como adubo pelos chacareiros e a disposição dos resíduos às margens do Rio Tietê. O rápido processo de urbanização ocorrido no Brasil entre as décadas de 1940 e 1970 intensificou o agravamento do problema dos resíduos sólidos porque a infraestrutura urbana física e de prestação de serviços públicos não conseguiram acompanhar o ritmo de crescimento da população.

O gerenciamento dos resíduos sólidos em áreas urbanas se baseou, historicamente, na coleta e na deposição dos resíduos em locais distantes pelas administrações públicas. Quando executado com eficiência, sobretudo a coleta mais organizada e a disposição em locais distantes dão a sensação de eficiência da gestão pública à população. Além desta sensação de eficiência, os serviços de coleta de resíduos são uma das atividades mais importantes no manejo dos resíduos sólidos urbanos porque possuem elevados custos operacionais.

Em 2004, o Ministério das Cidades publicou o Diagnóstico de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos de 2002, do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que obteve a participação de 108 municípios. A pesquisa coletou informações sobre os serviços relacionados ao manejo de resíduos sólidos, como a coleta de resíduos domiciliares e de serviços de saúde, varrição, capina e tratamento e disposição final.

O documento expõe a dificuldade em se estabelecer indicadores nos quais pudessem ser obtidos dados específicos para se auferir a eficácia e/ou a adequação dos serviços. Especificamente em relação à coleta de resíduos, o Diagnóstico afirma que estes serviços são “fortemente” condicionados pelas características dos locais onde são executados, como

por exemplo, a topografia, clima, uso e ocupação do solo, densidade populacional, intensidade de tráfego de veículos, tipos de pavimentação das vias públicas, entre outros. Além disso, a qualidade das informações obtidas deixa a desejar devido ao número de aparentes incoerências observadas provavelmente em função da precária estrutura de gestão e controle dos serviços de manejo de resíduos sólidos dos municípios Brasileiros.

O estabelecimento dos setores de coleta de lixo e dos roteiros dos veículos de coleta tem sido feito manualmente em grande parte dos municípios Brasileiros. Deluqui (2003) apresenta características dos sistemas de coleta domiciliar do Brasil, obtidas por meio de questionários respondidos por diversos municípios no país. De acordo com a pesquisa realizada pela autora, em 62% dos municípios os roteiros de coleta são definidos e traçados manualmente com base na experiência da equipe de trabalho. Para isto, foi observado que são considerados alguns aspectos como volume de tráfego, distância a ser percorrida, a topografia, o início da coleta nos pontos mais próximos à garagem, entre outros, mas nenhum estudo específico é realizado.

Para o estabelecimento da melhor relação entre a satisfação da população com o serviço prestado e os aspectos de qualidade, custos, atendimento e proteção à saúde pública, deve-se buscar a otimização do processo de coleta de lixo com a utilização da tecnologia disponível.

O problema da coleta de resíduos sólidos urbanos (RSU) enquadra-se entre os Problemas de Roteirização de Veículos (PRV) que, segundo Pelizaro (2000), tem sido visto como um dos maiores sucessos na área de Pesquisa Operacional nas últimas décadas.

De acordo com Lacerda (2003), o problema de percurso na coleta de lixo consiste em definir um conjunto de rotas que atendam a um conjunto de determinadas áreas. O percurso deve ser realizado com menor custo, atendendo às restrições de movimentação de veículos nas ruas da cidade, capacidade dos caminhões e tempo máximo da frota em serviço. Assim, este problema é considerado bastante complexo, pois exige a definição de modelos matemáticos e o desenvolvimento de algoritmos que possibilitem considerar as restrições encontradas nos problemas reais.

Segundo Deluqui (2003), a utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG), que oferece ferramental operacional que auxilia e agiliza os procedimentos de planejamento, gerência e de tomadas de decisão, mostra-se viável, haja vista a estrutura dos programas adaptados para o problema de roteirização de veículos para coleta de resíduos sólidos. Os SIG's aplicados em problemas de transportes fornecem acessibilidade à base de dados geográficos e de transporte, possibilitando que esses elementos sejam combinados de diferentes maneiras.

A existência de uma representação da malha viária de uma cidade através de um SIG pode conferir representatividade e fidelidade às condições reais em que os deslocamentos do veículo coletor ocorrem. Isto permite simular alternativas de roteirização de veículos coletores de resíduos que resultem na visualização e avaliação integrada de aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

Lemes (2004) destaca que as potencialidades de um SIG decorrem da sua habilidade em integrar grandes quantidades de informação e na capacidade de utilizar grande número de ferramentas analíticas para explorar esses dados.

Como na maioria das cidades Brasileiras o gerenciamento do manejo dos resíduos sólidos é bastante precário, obter informações confiáveis a respeito dos serviços de coleta de lixo que são prestados à população é tarefa difícil. Assim, o uso da tecnologia do sistema de posicionamento por satélites (GPS) pode auxiliar no mapeamento da situação real dos setores e das rotas de coleta de lixo de uma cidade com boa precisão e com baixos custos, possibilitando gerar indicadores que subsidiem o planejamento da atividade. Aliada à tecnologia dos SIGs, a utilização do sistema GPS pode contribuir para a busca de soluções que proporcionem a melhoria da eficiência e da eficácia dos serviços de coleta de lixo das cidades.

Assim, observando os elementos descritos anteriormente, foram definidos os objetivos deste trabalho, descritos a seguir.

Objetivo geral:

- Otimizar o processo de coleta dos resíduos sólidos com base em rotinas de roteirização e receptores do sistema de posicionamento por satélites – *Global Positionig System* (GPS).

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar e avaliar o manejo dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Ituiutaba (MG);
- Avaliar o sistema de coleta com base em indicadores relacionados com o processo de coleta, tais como, distâncias percorridas, setorização e roteirização.

A cidade de Ituiutaba (MG), escolhida para a realização do estudo de caso do presente trabalho, possui aproximadamente 90.000 habitantes. Os serviços de coleta de lixo são executados pelo Poder Público Municipal e apresentam deficiências, como poucas informações sobre setores de coleta e roteiros dos veículos coletores, baixa regularidade e falta de planejamento para a prestação dos serviços, gerando grande número de reclamações dos munícipes.

O presente trabalho é dividido em seis capítulos. Após este capítulo de introdução, o Capítulo 2 apresenta uma visão geral sobre os resíduos sólidos urbanos e o saneamento ambiental, abordando entre outros tópicos a questão dos sistemas de coleta, transportes e destinação final dos resíduos.

O Capítulo 3 trata dos Sistemas de Informações Geográficas, incluindo histórico, definições, os tipos de dados e suas formas de apresentação, além de suas aplicações no planejamento urbano e ambiental e de transportes. Este capítulo apresenta ainda os problemas e sistemas de roteirização e programação de veículos e a utilização da tecnologia do GPS.

Em seguida, o Capítulo 4 apresenta o estudo de caso realizado na área central da cidade de Ituiutaba (MG). A área central foi escolhida por ser atendida pelos serviços de coleta de lixo de segunda-feira a sábado. Este Capítulo apresenta o local do estudo, a caracterização do problema e os resultados obtidos. São apresentadas a caracterização do manejo de resíduos sólidos domiciliares na cidade de Ituiutaba, caracterização e mapeamento da

situação atual da área de estudo da coleta de resíduos sólidos domiciliares por meio de receptores do sistema GPS e a aplicação do *software* TransCAD na área de estudo de coleta de resíduos sólidos domiciliares, proposta para este trabalho. O Capítulo é finalizado com a descrição dos resultados obtidos do mapeamento da situação atual do sistema de coleta de lixo da área do estudo e da aplicação das rotinas do TransCAD para a otimização do deslocamento dos veículos coletores para a realização destes serviços. São apresentadas também as dificuldades encontradas para a realização destas atividades, bem como são comparados os resultados obtidos com a utilização do *software* e a situação atual das rotas de coleta de lixo da área em estudo.

Finalmente, o Capítulo 5 apresenta as conclusões sobre o mapeamento da situação atual da coleta de resíduos sólidos na área do estudo e sobre a aplicação das rotinas do TransCAD, bem como recomendações para melhorias operacionais dos serviços de coleta de lixo da cidade de Ituiutaba e para trabalhos futuros. A última parte contém as referências bibliográficas citadas neste trabalho.

## CAPÍTULO 2

# RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A produção de lixo é inevitável, por definição considera-se lixo, restos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou descartáveis, apresentando-se sob estado sólido, semi-sólido ou semilíquido, ocorre diariamente, em quantidades e composições que dependem do desenvolvimento e do tamanho da população.

Segundo Damasceno e Maragno (2004), as cidades da idade média eram caracterizadas como aglomerados humanos, aonde se convivia com detritos de todas as espécies. Desde a Antigüidade até meados do século XIX, uma cidade típica do mundo era o repositório, não só de pequenos detritos, mas de restos de comida e significativa quantidade de excremento animal e humano, originando pestes e epidemias. Com o desenvolvimento da ciência sanitária, descobriu-se que tais dejetos eram fontes explosivas de doenças, levando a humanidade a tomar medidas para o tratamento e destino adequados de tais resíduos.

Segundo as autoras, no início da Era Cristã havia cerca de 200 milhões de pessoas no mundo. Em meados de 1800, a população girava em torno de 1 bilhão de habitantes. Com o desenvolvimento tecnológico (medicina, agricultura, etc.) a população mundial atinge hoje a marca de 6 bilhões de pessoas. Com este crescimento populacional, as reservas do planeta ficarão cada vez mais escassas, bem como extremamente poluídas pela ação descontrolada do homem, com uma produção diária de resíduos capaz de sufocar e deteriorar a qualidade de vida dos habitantes do planeta.

## 2.1 O SANEAMENTO AMBIENTAL

Considerava-se *saneamento básico* as estruturas e operações referentes aos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. Os primeiros poços, chafarizes, barragens e aquedutos para abastecimento das populações foram construídos no Egito, Mesopotâmia e na Grécia. A partir do século V A.C., os romanos começaram a desenvolver essas técnicas.

O primeiro aqueduto de Roma – o *Aqua Appia* – foi um marco na modernização de Roma, porém desde o século XI A.C. decretos regulamentavam a distribuição da água, confiando essa tarefa a um grêmio profissional – os *aquarii* – cuja responsabilidade era “assegurar que nas fontes públicas a água estivesse disponível para todos, tão regularmente se possível, dia e noite” (OPAS/OMS, 1999).

Há 400 anos A.C., Hipócrates (460-377) já chamava a atenção de seus colegas para a relação entre a qualidade da água e a saúde da população, quando disse que o médico “que chega em uma cidade desconhecida deveria observar com cuidado a água usada por seus habitantes” (OPAS/OMS, 1999).

O uso da água como meio para o afastamento dos dejetos provenientes das atividades humanas passou a ser utilizado no século XVIII. Segundo Azevedo Netto e Botelho (1991), o sistema de esgotos com transporte hídrico foi criado pelos ingleses a partir da invenção da bacia sanitária de Joseph Bramah. A água então passou a ter dois diferentes usos, a limpa para o consumo e a água suja para o afastamento de dejetos. E assim, surgiram os problemas de poluição hídrica.

A partir de 1875 e durante os 20 anos seguintes, os cientistas identificaram os microorganismos causadores da lepra, tuberculose, cólera, etc. Estas descobertas proporcionaram o desenvolvimento da higiene pessoal e da saúde pública (OPAS/OMS, 1999).

O saneamento, definido pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como o controle de todos os fatores do meio físico do homem que podem exercer efeitos nocivos sobre seu

bem-estar físico, mental e social, tradicionalmente é considerado como atividade sob responsabilidade direta do poder público, principalmente porque é guiado por três princípios básicos: universalidade, equidade e integralidade (FEAM, 2001).

O seu conceito foi ampliado pela OMS e isto se deveu ao entendimento de que não só o abastecimento de água e o esgotamento sanitário, mas também a correta construção, operação e gestão de instrumentos de drenagem urbana, manejo de resíduos sólidos e de controle de vetores são essenciais para a qualidade de vida dos seres humanos, em especial para a grande maioria que vive aglomerada em centros urbanos, e para a preservação do meio ambiente.

O conceito de *saneamento básico* foi substituído pelo conceito de *saneamento ambiental*, cujos instrumentos dividem-se em cinco áreas:

- **Abastecimento de água:** captação, adução, reservação e distribuição de água em qualidade e quantidade suficiente;
- **Esgotamento sanitário:** coleta, tratamento e disposição final;
- **Drenagem urbana:** coleta de águas pluviais, obras de macro-drenagem, manutenção e preservação dos fundos de vale e cursos d'água;
- **Resíduos sólidos:** coleta, transporte, reciclagem e disposição final adequada dos resíduos urbanos;
- **Controle de vetores e reservatórios de doenças transmissíveis:** roedores, insetos, helmintos e outros.

De acordo com o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos publicado em 2004 pelo Ministério das Cidades por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, com dados referentes à pesquisa realizada no ano 2002, cerca de 20% da população Brasileira não conta com serviços de abastecimento de água e aproximadamente 50% não é servida por redes de coleta de esgotos e o seu tratamento atende à apenas 27% da população (SNIS, 2004).

Em relação aos resíduos sólidos, dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), coletados na Pesquisa Nacional sobre Saneamento Básico (PNSB) realizada em 2002, indicaram uma situação de destinação final do lixo coletado no País, em peso,

bastante favorável: 47,1% em aterros sanitários, 22,3% em aterros controlados e apenas 30,5% em lixões, ou seja, mais de 69% de todo o lixo coletado no Brasil estaria tendo um destino final adequado em aterros sanitários e/ou controlados. Todavia, em número de municípios, o resultado não é tão favorável: 63,6% utilizam lixões e 32,2%, aterros adequados (13,8% sanitários, 18,4% aterros controlados), sendo que 5% não informaram para onde vão seus resíduos. Em 1989, a PNSB mostrava que o percentual de municípios que davam destino aos seus resíduos de forma adequada era de apenas 10,7%.

## 2.2 DEFINIÇÕES, CLASSIFICAÇÕES E CARACTERÍSTICAS

De acordo com Brasil (2004), resíduos sólidos são materiais heterogêneos, podendo ser inertes, orgânicos e minerais que resultam das atividades humanas e da natureza, podendo ser parcialmente reaproveitados.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define resíduos sólidos como:

[...] resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividade de origem industrial, doméstica, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes dos sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis face à melhor tecnologia disponível (NBR 10004).

Segundo Aguiar e Philippi Jr (2004), a definição da ABNT se aproxima bastante de definições internacionais, como a dos Estados Unidos e da Agenda 21. Consta na Agenda 21 a seguinte definição:

Os resíduos sólidos [...] compreendem todos os restos domésticos e resíduos não perigosos, tais como os resíduos comerciais e institucionais, o lixo da rua e os entulhos de construção. Em alguns países, o sistema de gestão dos resíduos sólidos também se ocupa dos resíduos humanos, tais como excrementos, cinzas de incineradores, sedimentos de fossas sépticas e de instalações de tratamento de esgoto. Se manifestarem características perigosas, esses resíduos devem ser tratados como resíduos perigosos. (CNUMAD, 1997 *apud* AGUIAR e PHILIPPI JR, 2004).

Este trabalho adota a definição da ABNT.

Os resíduos sólidos são classificados de diversas maneiras, como a classificação por origem ou local de produção, a natureza física dos resíduos (seco ou molhado), a composição química (orgânico e inorgânico) e o grau de degradabilidade.

De acordo com Brasil (2004), os resíduos sólidos são constituídos de substâncias:

- Facilmente degradáveis, como restos de comida, sobras de cozinha, restos de podas, animais mortos e excrementos;
- Moderadamente degradáveis, como papel, papelão e outros produtos celulósicos;
- Dificilmente degradáveis, como tecidos, couro, madeira, borracha, ossos, plásticos, entre outros;
- Não degradáveis, como metal não ferroso, vidro, pedras, cinzas, terra, areia, cerâmica, etc.

Usualmente, classificam-se os resíduos sólidos pela sua origem de forma a definir aproximadamente os tipos de resíduos e os riscos a eles associados, bem como as responsabilidades dos geradores, em:

- Resíduos sólidos domiciliares;
- Resíduos sólidos industriais;
- Resíduos sólidos comerciais;
- Resíduos sólidos de serviços de saúde;
- Resíduos sólidos de serviços de transporte;
- Resíduos sólidos de construção civil.

Tchobanoglous et al. (1993), citado por Deluqui (2003), propõe uma classificação mais detalhada dos resíduos sólidos quanto à sua origem. A Tabela 1 apresenta a classificação dos resíduos sólidos quanto à origem proposta pelos autores.

**Tabela 1: Classificação dos resíduos sólidos, segundo a sua origem.**

| <b>Fonte</b>                                        | <b>Unidades típicas, atividades ou localização onde os resíduos são gerados</b>                                 | <b>Tipos de Resíduos Sólidos</b>                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Residência                                          | Família simples e várias famílias em residências independentes e apartamentos.                                  | Resíduos de alimentos, papel, papelão, plásticos, tecidos, couros, resíduos de jardinagem e poda, madeira, vidro, latas, cinzas, resíduos de varrição, resíduos especiais (itens volumosos, artigos eletrônicos, baterias, pneus e óleos), resíduos sólidos perigosos. |
| Comércio                                            | Lojas, restaurantes, mercados, escritórios, hotéis, motéis, lojas de impressão, serviços mecânicos, etc.        | Papel, papelão, plásticos, madeira, resíduos de alimentos, vidro, metal, resíduos especiais (veja acima), resíduos perigosos, etc.                                                                                                                                     |
| Instituições                                        | Escolar, hospitalar, prisões, centros governamentais.                                                           | Papel, papelão, plásticos, madeira, resíduos de alimentos, vidro, metal, resíduos especiais (veja acima), resíduos perigosos, etc.                                                                                                                                     |
| Construção e Demolição                              | Áreas de novas construções, recuperação/renovação de estradas, entulhos de pavimentação.                        | Madeira, aço, concreto, poeira, etc.                                                                                                                                                                                                                                   |
| Serviços Municipais (exceto unidades de tratamento) | Varrição, limpeza de boca de lobo, parques e praias, outras áreas de recreação.                                 | Resíduos especiais, refugos, resíduos de varrição, podas de árvores e de parques em geral, praias e áreas de recreação.                                                                                                                                                |
| Unidades de tratamento; incineradores municipais    | Processos de tratamento de água, efluentes e resíduos industriais.                                              | Resíduos das unidades de tratamento, principalmente compostos por lodos residuais.                                                                                                                                                                                     |
| Município                                           | Todos os citados anteriormente.                                                                                 | Todos os citados anteriormente.                                                                                                                                                                                                                                        |
| Indústria                                           | Construção, fabricação, indústrias pesadas e leves, refinarias, unidades geradoras de energia, demolições, etc. | Resíduos de processo industrial, sucata etc. Resíduos não industriais, incluindo alimentos, refugos, cinzas, resíduos de demolição e construção, resíduos especiais, resíduos perigosos.                                                                               |
| Agricultura                                         | Colheita, pomares, videiras, leiterias, fazendas, etc.                                                          | Resíduos de alimentos estragados, resíduos de agricultura, refugos, resíduos perigosos.                                                                                                                                                                                |

Fonte: Tchobanoglous et al. (1993) *apud* Deluqui (2003).

Segundo a periculosidade, a Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da NBR 10004 – Resíduos sólidos: classificação – estabelece as categorias dos resíduos sólidos:

- Resíduos Classe I – Perigosos: possuem características que trazem riscos graves ao meio ambiente e/ou à saúde pública. Podem ser tóxicos, corrosivos, radioativos, patogênicos, inflamáveis.
- Resíduos Classe II – Não perigosos:

- Resíduos Classe II A – não inertes: não apresentam características de periculosidade nem são inertes. Incluem-se nessa categoria os resíduos sólidos domiciliares e outros combustíveis ou biodegradáveis, como madeira, papel e podas de jardim. Em contato com uma solução especificada de ácido acético, de acordo com a norma técnica NBR 10006, o lixiviado não excede os padrões estabelecidos na norma NBR 10004.
- Resíduos Classe II B – inertes: quando em contato com a água no teste de solubilização realizado de acordo com a norma técnica NBR 10005 resultam em material solubilizado com características potáveis, excetuadas as organolépticas.

A composição dos resíduos sólidos domiciliares varia de comunidade para comunidade. O número de habitantes e seus hábitos, costumes, poder aquisitivo e nível educacional, bem como o clima e o desenvolvimento do local são fatores que interferem na composição do lixo.

Segundo Lacerda (2003), a composição dos resíduos sólidos, tanto do ponto de vista qualitativo como quantitativo, é um dos principais fatores para o devido equacionamento da coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos.

#### **a) Composição qualitativa**

O lixo gerado nos municípios apresenta componentes putrescíveis, recicláveis e combustíveis, que podem ser exemplificados, de acordo com Consoni et al. (2000a), em:

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

#### **b) Composição quantitativa**

As Tabelas 2 e 3 mostram as composições dos resíduos sólidos domiciliares no Brasil e em outros países.

**Tabela 2: Composição dos resíduos sólidos domiciliares, em porcentagem de peso, em cidades brasileiras.**

| COMPOSIÇÃO | São Paulo | Rio de Janeiro | Salvador | Campo Grande |
|------------|-----------|----------------|----------|--------------|
| Orgânicos  | 63        | 34             | 43       | 62           |
| Papel      | 14        | 27             | 19       | 19           |
| Plástico   | 13        | 13             | 11       | 6            |
| Metal      | 3         | 3              | 4        | 3            |
| Vidro      | 1         | 2              | 4        | -            |
| Outros     | 6         | 21             | 19       | 10           |
| Total      | 100       | 100            | 100      | 100          |

Fonte: Aguiar (1999) *apud* Aguiar e Philippi Jr (2004).

**Tabela 3: Composição dos resíduos sólidos domiciliares, em porcentagem de peso, em alguns países.**

| COMPOSIÇÃO (%) | Brasil | EUA   | Europa | Japão | México | Peru  |
|----------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| Orgânicos      | 52,5   | 0,0   | 28,1   | 0,0   | 54,4   | 51,4  |
| Papel          | 24,5   | 44,0  | 36,0   | 40,0  | 20,0   | 10,0  |
| Plástico       | 2,9    | 10,0  | 7,2    | 7,0   | 3,8    | 3,2   |
| Metal          | 2,3    | 7,0   | 9,2    | 2,5   | 3,2    | 2,1   |
| Vidro          | 1,6    | 5,0   | 9,8    | 1,0   | 8,2    | 1,3   |
| Outros         | 16,2   | 34,0  | 9,7    | 49,5  | 10,4   | 32,0  |
| Total          | 100,0  | 100,0 | 100,0  | 100,0 | 100,0  | 100,0 |

Fonte: Philippi Jr (1999) *apud* Consoni et al. (2000a).

Os resíduos sólidos podem ser classificados quanto as suas características físicas e químicas, de acordo com Brasil (2004) e Monteiro et al. (2001):

**a) Características físicas:**

- Compressividade: é a redução do volume dos resíduos sólidos quando submetidos a uma pressão (compactação). Submetido a uma pressão de  $4 \text{ kg/cm}^2$ , o volume de lixo pode ser reduzido de um terço ( $1/3$ ) a um quarto ( $1/4$ ) do seu volume original;

- Teor de umidade: compreende a quantidade de água existente na massa dos resíduos sólidos. Este 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%.
- Composição gravimétrica: determina a porcentagem de cada constituinte da massa de resíduos sólidos, proporcionalmente ao seu peso, citado no item anterior;
- Produção *per capita*: é a massa de resíduos sólidos produzida por uma pessoa em um dia (kg/hab/dia). No Brasil, adotam-se valores de produção *per capita* de resíduos da ordem de 0,50 a 0,72 kg/hab/dia;
- Peso específico: é a razão entre a massa e o volume dos resíduos, geralmente expressa em  $\text{kg/m}^3$ . É um dado fundamental para o dimensionamento dos sistemas de coleta e de tratamento. Na ausência de dados mais precisos, podem-se utilizar os valores de 230  $\text{kg/m}^3$  para o peso específico dos resíduos domiciliares, de 280  $\text{kg/m}^3$  para o peso específico dos resíduos de serviços de saúde e de 1.300  $\text{kg/m}^3$  para o peso específico de entulhos de construção civil.

#### **b) Características químicas:**

- Poder calorífico: indica a quantidade de calor desprendida durante a combustão de um quilo de resíduos sólidos. É de grande interesse no caso de tratamento por incineração. O poder calorífico médio do lixo domiciliar se situa na faixa de 5.000kcal/kg;
- Teores de matéria orgânica: é o percentual de cada constituinte da matéria orgânica (cinzas, gorduras, macronutrientes, micronutrientes, resíduos minerais, etc.). É importante para processos de transformação do resíduo em composto orgânico que serve como adubo;
- Relação carbono/nitrogênio (C/N): determina o grau de degradação da matéria orgânica. Indicador importante na produção de composto orgânico e sua aplicação. Em geral, esta relação encontra-se na ordem de 35/1 a 20/1;
- pH: é o teor de alcalinidade ou acidez da massa de resíduos. Característica também importante no controle e produção e aplicação de compostos orgânicos. Em geral, situa-se na faixa de 5 a 7.

Segundo Lacerda (2003), a quantidade de resíduos sólidos gerados tem importância fundamental para os aspectos que envolvem o seu gerenciamento. A geração e a coleta

fornece dados para o dimensionamento da frota, a definição dos setores de coleta e as unidades de recuperação de material e as de disposição final. Este dados também pode subsidiar informações para programas de minimização e levantamentos de potencialidades econômicas dos resíduos.

De acordo com Parra et al (2000), a estimativa do volume de lixo a ser coletado pode ser feita por meio do monitoramento da totalidade do serviço existente ou pelo monitoramento seletivo por amostragem. Entretanto, as duas alternativas apresentam imprecisões, principalmente porque o volume de lixo *per capita* pode variar dia-a-dia.

No método de monitoramento do total de lixo coletado descrito por Parra et al (2000), pesam-se todos os veículos carregados no ponto de transbordo ou de destinação final, descontando-se o peso dos veículos vazios. Como há variações da quantidade de lixo produzido por dia, deve-se repetir este procedimento em mais de um dia para se obter dados representativos da realidade do município.

A outra opção sugerida pelos autores para a estimativa do volume de lixo a ser coletado, que é o monitoramento parcial do lixo coletado, inicia-se com a identificação de roteiros de coleta em regiões homogêneas em termos de geração de lixo, bem como da geografia e do tipo de uso e da intensidade de ocupação do solo do município. A partir das informações relativas a esses roteiros selecionados para a amostragem, é possível expandir a amostra, considerando a divisão da cidade em regiões homogêneas.

O monitoramento parcial do lixo coletado exige também a determinação ou estimativa do número de habitantes, tanto das áreas atendidas por roteiros selecionados para o monitoramento, quanto das regiões homogêneas em que a cidade foi subdividida com a finalidade de expandir a coleta. Os veículos dos roteiros selecionados também devem ser pesados.

Caso não seja possível realizar nenhum dos dois procedimentos de levantamento de campo, Parra et al (2000) sugerem que seja adotado um valor genérico de geração de lixo equivalente a 0,650 kg/hab/dia, que corresponde aproximadamente à média dos municípios Brasileiros. Os autores ainda sugerem que, alternativamente, pode-se determinar índices de

geração de resíduos domiciliares por extensão de via, expresso em kg/dia por metro de via. Estes índices podem ser obtidos dividindo-se a quantidade total de lixo coletado por dia pela extensão total das vias percorridas.

Dados da Pesquisa Nacional de Saneamento realizada em 2000 apontam os números da produção de resíduos conforme a faixa de população. A Figura 1 apresenta os quantitativos da produção de resíduos sólidos domiciliares *per capita* levantados na PNSB.

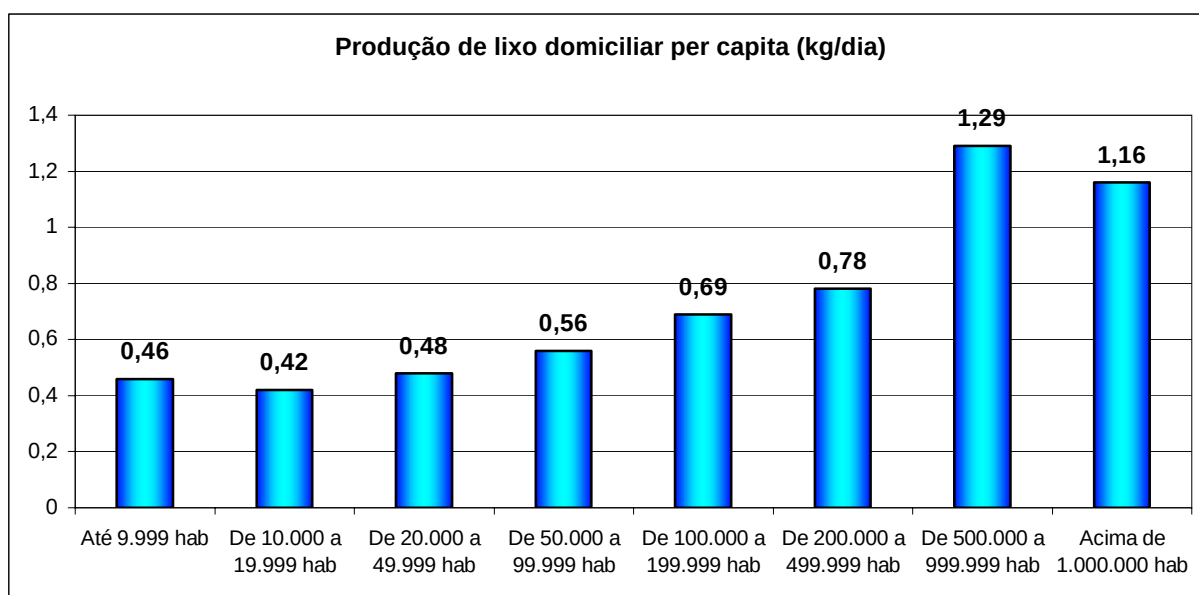


**Figura 1: Produção de lixo domiciliar *per capita*.**

Fonte: Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2000 / IBGE.

De acordo com Aguiar e Philippi Jr (2004), estudos demonstram que a quantidade de resíduos sólidos domésticos gerada por habitante é maior nas cidades maiores, confirmando o que demonstra a Pesquisa Nacional de Saneamento. Isso se deve, entre outros fatores, à maior circulação de mercadorias, ao maior consumo de embalagens descartáveis, à rápida obsolescência de objetos e equipamentos, além de necessidades artificiais geradas por modismos, o estilo de vida que tem como base o consumo de alimentos superprocessados, a poluição de informações que gera necessidade de embalagens cada vez maiores e mais chamativas para os produtos de consumo, etc.

A seguir, são apresentados os sistemas de coleta e transporte de resíduos sólidos domiciliares, onde também são descritos os equipamentos e os métodos de dimensionamento da prestação destes serviços.

## **2.3 SISTEMAS DE COLETA E TRANSPORTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES**

No gerenciamento do manejo dos resíduos sólidos, a coleta de lixo é o serviço que está mais à vista da população. A falta de um planejamento adequado e da manutenção da regularidade dos serviços gera muitas reclamações da população devido ao acúmulo de lixo nos imóveis, que propiciam a proliferação de vetores e maus odores.

A participação da comunidade neste processo é muito importante, mantendo o lixo adequadamente acondicionado e disposto nos períodos pré-determinados de realização da coleta para colaborar com a eficiência do trabalho das equipes.

De acordo com Aguiar e Philippi Jr (2004), o planejamento e a administração da coleta envolvem algumas considerações importantes, como a frequência, o ponto de coleta, o horário e a forma da coleta, para que causem menos transtornos possíveis para a população e seja sanitária e economicamente adequadas.

Segundo Brasil (2004), a coleta e o transporte dos diversos tipos de resíduos e estabelecimentos, entre eles o domiciliar, de feiras livres, de calçadas e estabelecimentos públicos e a coleta de resíduos de serviços de saúde, de um modo geral, devem garantir os seguintes requisitos:

- a) A universalidade do serviço prestado;
- b) A regularidade da coleta (periodicidade, frequência e horário):
  - Periodicidade: os resíduos sólidos devem ser recolhidos em períodos regulares. A irregularidade faz com que a coleta deixe de ter sentido sob o ponto de vista sanitário e passe a desestimular a população;

- Frequência: é o intervalo entre uma coleta e a seguinte e deve ser o mais curto possível. Em locais de clima tropical, o ideal é que a coleta seja feita diariamente, mas se aceita em dias alternados. Esta definição depende em especial da disponibilidade de equipe e de equipamentos.
- Horário: a coleta usualmente é feita durante o dia e, em áreas comerciais e locais de trânsito intenso, é mais viável a coleta noturna.

Pesquisa realizada por Deluqui (2003), apresenta características dos sistemas de coleta domiciliar do Brasil, obtidas por meio de questionários respondidos pelos responsáveis pelos serviços de coleta de lixo em diversos municípios do país. Os resultados da pesquisa indicam que, em média, 90% da população dos municípios são atendidos pelos serviços de coleta domiciliar. A pesquisa mostrou que a maioria dos serviços é prestada pela prefeitura e que onde o serviço é terceirizado, não há muitos dados operacionais.

Existem diversos tipos de equipamentos para a coleta e o transporte de resíduos, entre eles veículos tipo lutocar, carroças de tração animal, caçambas tipo basculante, caminhão com sistemas de compactação de diversas capacidades e carretas rebocadas com trator. Cada equipamento apresenta vantagens e desvantagens e a escolha do mais adequado está condicionada a fatores como a quantidade de resíduos, a forma do acondicionamento e as condições de acesso aos pontos de coleta (PARRA et al., 2000).

Em cidades de médio e grande porte, o equipamento para a coleta e o transporte mais utilizado é o caminhão com sistema de compactação que, de acordo com Brasil (2004), apresenta as seguintes vantagens:

- Capacidade de coletar grandes volumes;
- Maior velocidade operacional (km/h);
- Evita derramamentos dos resíduos;
- Possui condições ergonômicas ideais para o serviço dos coletores;
- Apresenta maior produtividade;
- O descarregamento é rápido;
- Dispensa arrumação dos resíduos nas carrocerias;

E apresentam as seguintes desvantagens:

- Preço elevado;
- Alto custo de manutenção;
- Não trafega em trechos de acesso complicado;
- Relação custo benefício desfavorável em cidades de baixa densidade populacional.

De acordo com Parra et al. (2000) e Brasil (2004), 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.

A reformulação parcial do serviço já prestado pode ser necessária, entre outros motivos, quando for identificadas baixa eficiência e produtividade do serviço existente. O dimensionamento dos serviços de coleta exige as seguintes etapas:

a) Levantamento de dados:

- Mapa geral do município, cadastral ou semicadastral (escalas 1:5.000 ou 1:10.000);
- Veículos disponíveis da frota e respectivas capacidades, quando não se tratar de dimensionamento de um novo serviço;
- Sentido de tráfego das avenidas e ruas.

b) Localização de pontos importantes para coleta:

- Localização da garagem dos veículos e local de destinação final;
- Localização de unidades ou locais de grande geração de resíduos.

c) Definição de setores de coleta:

- Subdivisão da cidade em setores de coleta que representem regiões homogêneas em termos da geração de lixo *per capita*, do uso e ocupação do solo;
- 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.

d) Estimativa da quantidade de lixo por setor:

- A estimativa da quantidade de lixo produzida pode ser determinada conforme indicado o item 2.2. Entretanto, na impossibilidade da realização de pesquisas no local, adotam-se valores médios de referência da produção de resíduos domiciliares, por faixa sócio-econômica da população.

e) Estimativa dos parâmetros operacionais:

- Distância entre a garagem da empresa e o setor de coleta;
- Distância entre o setor de coleta e o ponto de descarga;
- Extensão total das vias do setor de coleta;
- Velocidade média no percurso durante a coleta depende do sistema viário, da topografia do local, do tamanho da guarnição, da quantidade de lixo a ser coletada por unidade de distância (kg/km) e do carregamento do veículo, e varia entre 4 e 6,5 km/h;
- 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; deve ser medida em campo e pode variar entre 15 e 30 km/h.

## 2.4 DISPOSIÇÃO FINAL

Os resíduos não tratados e os rejeitos dos processos de tratamento e reciclagem são finalmente dispostos no solo, na última etapa dos sistemas de gerenciamento dos resíduos sólidos, e a solução mais indicada é o aterro sanitário.

Segundo Monteiro et al. (2001), aterro sanitário é um método para a disposição final dos resíduos sólidos sobre terreno natural, através do seu confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo, segundo normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ao meio ambiente, em particular à saúde e a segurança pública. A Associação Brasileira de Normas Técnicas, na NBR 8419 de 1985, define aterro sanitário da seguinte forma:

“Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos consiste na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos na menor área possível e reduzi-los

ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário” (ABNT, 1985).

Os aterros sanitários devem contemplar áreas impermeabilizadas para a disposição dos resíduos e sistemas de drenagem para gases e percolados, sendo estes encaminhados para um sistema de tratamento próprio ou para estações de tratamento de esgotos para serem tratados juntamente com o esgoto doméstico.

Entretanto, as formas de disposição utilizadas pela maioria dos municípios Brasileiros, como mostrados pela Pesquisa de Saneamento Básico do IBGE do ano 2000 e pelo Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2002 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, são lixões a céu aberto. Lixão é uma forma inadequada de disposição de resíduos sobre o solo sem nenhuma técnica ou cuidado especial.

De acordo com a ABNT (1985), os resíduos dispostos desta forma acarretam problemas de saúde pública, como proliferação de vetores de doenças, geração de maus odores e, principalmente, poluição do solo e das águas pelo chorume, líquido de cor preta, mal cheiroso e de elevado potencial poluidor produzido pela decomposição da matéria orgânica presente no lixo. Os lixões também se constituem em sério problema social, porque acabam atraindo pessoas que fazem a catação de materiais recicláveis e até mesmo restos de comida em meio ao lixo como meio de sobrevivência. Nestas situações, muitas vezes estas pessoas permanecem na área do lixão, em abrigos e casebres, criando famílias e até mesmo formando comunidades.

Há também os chamados aterros controlados que, de acordo com Consoni et al. (2000b), são uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos sobre o solo que utiliza alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada etapa de trabalho. Entretanto, não há o cuidado da impermeabilização da área de disposição nem a existência de sistemas de drenagem do chorume e dos gases produzidos, o que torna esta técnica potencialmente poluidora.

No Brasil, a Pesquisa Nacional sobre o Saneamento Básico, realizada pelo IBGE em 2002, aponta que 63,6% dos municípios utilizam lixões e 32,2%, aterros adequados (entre

sanitários e controlados). Entretanto, o Diagnóstico de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos de 2002 afirma que ainda não é clara a definição do que é aterro controlado e o que é efetivamente lixão:

A categoria "lixão a céu aberto", em que se enquadram as instalações desprovidas de quaisquer procedimentos de controle (ambiental e/ou operacional) e que sabidamente abrange a enorme maioria dos municípios Brasileiros, na amostra pesquisada e de conformidade com os dados lançados nos formulários fornecidos corresponde apenas a três casos... Por um outro lado, as instalações de disposição de RSU existentes na imensa maioria dos municípios pesquisados enquadram-se na vaga categoria designada por "aterro controlado". Essa classificação abrange desde as instalações que simplesmente dispõem de uma cerca perimetral, que restringe  $\frac{3}{4}$  precariamente o acesso de animais de grande porte e de pessoas estranhas a seu interior àquela à qual apenas falta essa mesma cerca para que possa ser caracterizada como aterro sanitário, tendo em vista o critério adotado no presente trabalho para essa designação... A análise das características das instalações enquadradas na categoria genérica de "aterros controlados" evidencia a necessidade de que se venha a caracterizar de forma mais objetiva essa categoria, eventualmente pelo estabelecimento de "classes", de conformidade com o atendimento a um número progressivamente crescente de requisitos de controle sobre sua operação ou sobre seu potencial de agressão ambiental (SNIS, 2002).

O item a seguir aborda os Sistemas de Informações Geográficas, seu histórico, definições, tipos de dados em geoprocessamento, estrutura de apresentação de dados, a sua utilização no planejamento urbano e ambiental e a sua aplicação em transportes.

# **CAPÍTULO 3**

## **SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS**

O Geoprocessamento denota uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Esta tecnologia tem influenciado de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análises de Recursos Naturais, Transportes, Comunicação, Energia e Planejamento Urbano e Regional. Os instrumentos computacionais do Geoprocessamento, chamados de Sistemas de Informações Geográficas, permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados (CÂMARA e MEDEIROS, 1998).

Segundo Lemes (2004), Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) armazenam a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e numa projeção cartográfica adequada.

### **3.1 HISTÓRICO E DEFINIÇÕES**

De acordo com Oliveira (1993) *apud* Câmara e Medeiros (1998), a observação e a representação da superfície da terra têm sido importantes na organização das sociedades. Desde a mais remota Antigüidade até os tempos atuais, as informações espaciais têm sido descritas de forma gráfica pelos antigos cartógrafos. Originalmente, os mapas foram usados pra descrever locais longínquos, como um auxílio aos navegadores e aos estrategistas militares.

Segundo Câmara e Medeiros (1998), com o início das navegações oceânicas nos séculos XIV e XV, os governos europeus resgataram a importância dos mapas e começou-se a realização de mapeamentos sistemáticos em seus territórios. No século XX, a elaboração de mapas topográficos e temáticos foi intensificada. Surgiram os métodos matemáticos e estatísticos para o tratamento de informações geográficas contidas nos mapas. Com a evolução dos computadores nas décadas de 1970 e 1980, as técnicas de produção e análise tomaram grande impulso, possibilitando uma maior aproximação entre as várias disciplinas relacionadas com a identificação, o registro e a apresentação dos fenômenos geográficos.

De acordo com Nazário (2006), a idéia inicial de Sistemas de Informações Geográficas nasceu na Suécia. Entretanto, o primeiro SIG foi desenvolvido no Canadá em 1962, sendo denominado CGIS (*Canada Geographic Information Systems*). Ele objetivava a realização de inventários de terras canadenses em âmbito nacional, envolvendo diferentes aspectos sócio-econômicos e ambientais. Pacotes de SIG comerciais começaram a ser desenvolvidos nos anos 70, principalmente nos Estados Unidos e experimentaram rápido crescimento nos anos 80. Inicialmente, as empresas do governo eram os principais clientes destes produtos. No Brasil, as principais aplicações foram nos setores de energia e ambiental. Nas décadas posteriores, ocorreram avanços consideráveis em equipamentos e *software*, permitindo o desenvolvimento de sistemas mais potentes e novas aplicações.

Segundo Câmara e Medeiros (1998), muitos problemas no uso das ferramentas de Geoprocessamento decorrem do fato de que, por inexperiência, muitos técnicos utilizam sistemas CAD como SIG. O sistema CAD é uma ferramenta para capturar desenhos em formato legível para máquina e tratar os dados como desenhos eletrônicos em sistemas de coordenadas. Em um sistema de Geoprocessamento, os dados estão sempre georreferenciados, ou seja, localizados geograficamente na superfície terrestre.

Ainda segundo os autores, diferente dos sistemas CAD, uma das características básicas de um SIG é a capacidade de tratar as relações espaciais entre objetos geográficos. Denota-se por topologia a estrutura de relacionamentos espaciais (vizinhança, proximidade, pertinência) que podem se estabelecer entre objetos geográficos. Armazenar a topologia de um mapa é uma das características básicas que fazem um SIG se distinguir de um sistema CAD.

Em grande parte das aplicações de CAD, os desenhos não possuem atributos descritivos, mas apenas propriedades gráficas, tais como cor e espessura. Já em Geoprocessamento, os dados geográficos possuem atributos, o que torna necessário prover meios de consultar, analisar e manusear um banco de dados espaciais.

Mark et al. (2006) afirmam que os SIG's são sistemas computadorizados para armazenamento, recuperação, manipulação, análises e apresentação de dados georreferenciados. Os SIG's podem incluir informações sobre diversas áreas do conhecimento, sendo assim uma valiosa ferramenta para ciências naturais, sociais, médicas e engenharia, assim como para planejamentos e empresas. De acordo com Nazário (2006), os SIG's são uma coleção de *software*, *hardware*, dados geográficos e pessoal para facilitar o processo de tomada de decisão que envolve o uso de informações georeferenciadas na organização.

Sholten e Stillwell (1990) *apud* Santos et al. (2000), definem três funções principais possibilitadas por um SIG que requerem vários componentes, de acordo com o objetivo pretendido: armazenamento, manejo e integração de grandes quantidades de dados referenciados espacialmente. A segunda função principal do SIG é prover meios para realizar análises relacionadas especificamente aos componentes geográficos dos dados. As operações mais comuns são a pesquisa de dados, a busca de informações de acordo com algum critério de seleção e análises espaciais que envolvem modelagem e análise de padrões espaciais e de relacionamento de dados. A terceira função principal envolve a organização e o manejo de grandes quantidades de dados e a forma como estas informações podem ser facilmente acessadas por todos os usuários.

Um dado espacialmente referenciado pode ser concebido como contendo dois tipos de informações, dados de atributos e dados de localização. Dados cartográficos ou de localização são coordenadas de pontos (nós) bi ou tridimensionais, linhas (arcos) ou áreas (polígonos). Dados descritivos ou não-localizados são características ou atributos de pontos, linhas ou áreas.

De acordo com SIGs (2005) *apud* Lemes (2004), as tarefas que os Sistemas de Informações Geográficas se propõem a fazer são:

- **Organização dos dados:** armazenar dados de modo a substituir a mapoteca analógica por uma mapoteca digital possui vantagens óbvias, dentre as quais podem ser citadas a redução do espaço físico, o fim da deterioração dos produtos de papel, a pronta recuperação dos dados/atualização mais facilitada, a possibilidade de se produzirem cópias sem perda da qualidade;
- **Visualização de dados:** a possibilidade de selecionar apenas os níveis de informação desejados, montando-se mapas temáticos de acordo com o contexto, supera qualquer produto em papel. Apesar de subestimada, a capacidade de análises do olho humano é essencial em um estudo que envolve informação espacial;
- **Produção de mapas:** em geral os SIG possuem ferramentas completas para a produção de mapas, tornando-se bastante simples a inclusão de grades de coordenadas, escalas gráfica e numérica, legenda, norte e textos diversos, sendo muito mais indicado para a cartografia do que os simples sistemas de CAD;
- **Consulta espacial:** possivelmente é a função mais importante dos SIGs. A possibilidade de obter respostas para questões como quais as propriedades de um determinado objeto, ou em quais lugares tais propriedades ocorreriam, torna a interação entre o usuário e os dados extremamente dinâmica e poderosa.
- **Análise espacial:** consiste no uso de um conjunto de técnicas de combinação entre os níveis de informação, de modo a evidenciar padrões dentro dos dados anteriormente ocultos ao analista. É uma maneira de inferir significado a partir dos dados;
- **Previsão:** um dos propósitos do SIG é o de geração de cenários, modificando-se os parâmetros de maneira a avaliar como os eventos, naturais ou não, ocorreriam se as condições fossem diferentes, visando obter um conhecimento mais geral do objeto ou área em estudo.

## 3.2 TIPOS DE DADOS E FORMAS DE APRESENTAÇÃO

A base de dados de um SIG é uma coleção estruturada de dados digitais espaciais que têm como característica o fato de serem compostos por duas componentes distintas, segundo Antenucci et al. (1992) *apud* Pina (2000):

- **Gráfica (mapas):** descreve a localização, as feições geográficas e os relacionamentos espaciais entre as feições, ou seja, a descrição gráfica do objeto como simbolizado num mapa. Pode incluir coordenadas, códigos e símbolos que irão definir os elementos cartográficos específicos de um mapa;
- **Não-gráfica ou alfanuméricas (tabelas):** descreve os fatos e fenômenos, sociais e naturais, representados no mapa; também chamada textual ou atributiva, representa as características, qualidades ou relacionamentos de feições na representação cartográfica.

Esta característica dos SIGs de trabalhar com componentes espaciais (uma posição geográfica definida) e um componente não-espacial (seus atributos) implica que o usuário deve ter conhecimento das ferramentas de desenho (parte gráfica) e de tabelas e relacionamentos (banco de dados).

Os dados podem ser originários de diversas fontes, que podem ser classificadas genericamente em:

- **Primárias:** levantamentos de campo (topográficos, geodésicos, cadastrais), produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas, imagens orbitais), recenseamentos e vídeos;
- **Secundárias:** mapas e estatísticas derivados das fontes primárias (mapas).

Segundo Câmara e Medeiros (1998), o entendimento da tecnologia de Geoprocessamento requer uma descrição dos diversos tipos de dados utilizados em Sistemas de Informações Geográficas e de suas representações computacionais. A seguir, são descritos os principais tipos de produtos:

- **Mapas temáticos:** descrevem de forma qualitativa a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, como mapa de densidade populacional ou de aptidão agrícola,

obtidos por meio de levantamento de campo e inseridos no sistema por digitalização ou a partir de classificação de imagens.

- **Mapas cadastrais:** os mapas cadastrais distinguem-se dos mapas temáticos no sentido de que cada elemento é considerado como um objeto geográfico, possuindo atributos e podendo estar associado a várias representações gráficas. Por exemplo, os lotes de uma cidade são elementos do espaço geográfico que possuem atributos, tais como o nome do dono, a localização, o valor venal, o valor do IPTU devido, entre outros, e que podem ter representações gráficas diferentes em mapas de escalas distintas. Os atributos ficam armazenados num sistema gerenciador de banco de dados.
- **Redes:** em Geoprocessamento, o conceito de rede denota as informações associadas a serviços de utilidade pública, como água, luz e telefone, drenagem (bacias hidrográficas) e transportes. No caso de redes, cada objeto geográfico, tais como rotas de ônibus, tubulações de água, possui uma localização geográfica exata e está sempre associado a certos atributos descritivos armazenados no banco de dados. As informações gráficas de redes são armazenadas em coordenadas vetoriais, como topologia arco/nó: os atributos de arcos incluem o sentido do fluxo no trecho, sua impedância (custo de percurso), entre outros; nos nós definem-se, como por exemplo possibilidades de manobras, tipos de sinalização, dentre outros. Para se criar uma rede é preciso, inicialmente, criar as ligações. A rede deve ser considerada como sendo um grafo que, de uma maneira simplificada, é uma estrutura matemática composta de pontos e traços. Os pontos são denominados de **nós** e os traços de **arcos** (segmentos, braços, etc)
- **Imagens:** são obtidas por satélites, fotografias aéreas ou *scanners* e representam formas de captura indireta de informação espacial. Armazenadas como matrizes, cada elemento de imagem é denominado *pixel*. Devido à natureza do processo de aquisição de imagens, os objetos geográficos ficam contidos na imagem, fazendo-se necessário o uso das técnicas de fotointerpretação ou de classificação digital para individualizá-los.

- **Modelos numéricos do terreno:** é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associados à altimetria, também podem ser utilizados para modelar informações relativas às unidades geológicas, como teor de minerais, ou propriedades do solo ou subsolo, como aeromagnetismo.

De acordo com Câmara e Medeiros (1998), existem duas grandes classes de representações computacionais de mapas: vetoriais e matriciais, descritas a seguir:

- **Representação Matricial:** a representação matricial consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento que está sendo representado. Nesta representação, o espaço é representado como uma matriz  $P(n, m)$  composta de  $n$  linhas e  $m$  colunas, onde cada célula possui um número de linha, um número de coluna e um valor correspondente ao atributo estudado e cada célula é individualmente acessada pelas suas coordenadas. A representação matricial supõe que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana, onde cada célula é associada a uma porção do terreno. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa ou documento e a área coberta no terreno (Figura 2).
- **Representação Vetorial:** nesta classe, a representação de um elemento ou objeto é uma tentativa de reproduzi-lo o mais exatamente possível. Qualquer entidade ou elemento gráfico de um mapa é reduzido a três formas básicas: pontos (elementos pontuais), linhas (arcos) e áreas (polígonos) (Figura 2). Os pontos ou elementos pontuais dizem respeito a qualquer entidade geográfica que pode ser perfeitamente posicionada por um único par de coordenadas (x,y). Porém, outros dados não-espaciais (atributos) podem ser armazenados para indicar de que tipo de ponto está se tratando. As linhas, arcos ou elementos lineares são um conjunto de pontos conectados e também de atributos que descrevem que tipo de linha se trata. As áreas ou polígonos são representados pela lista de linhas que as compõem.

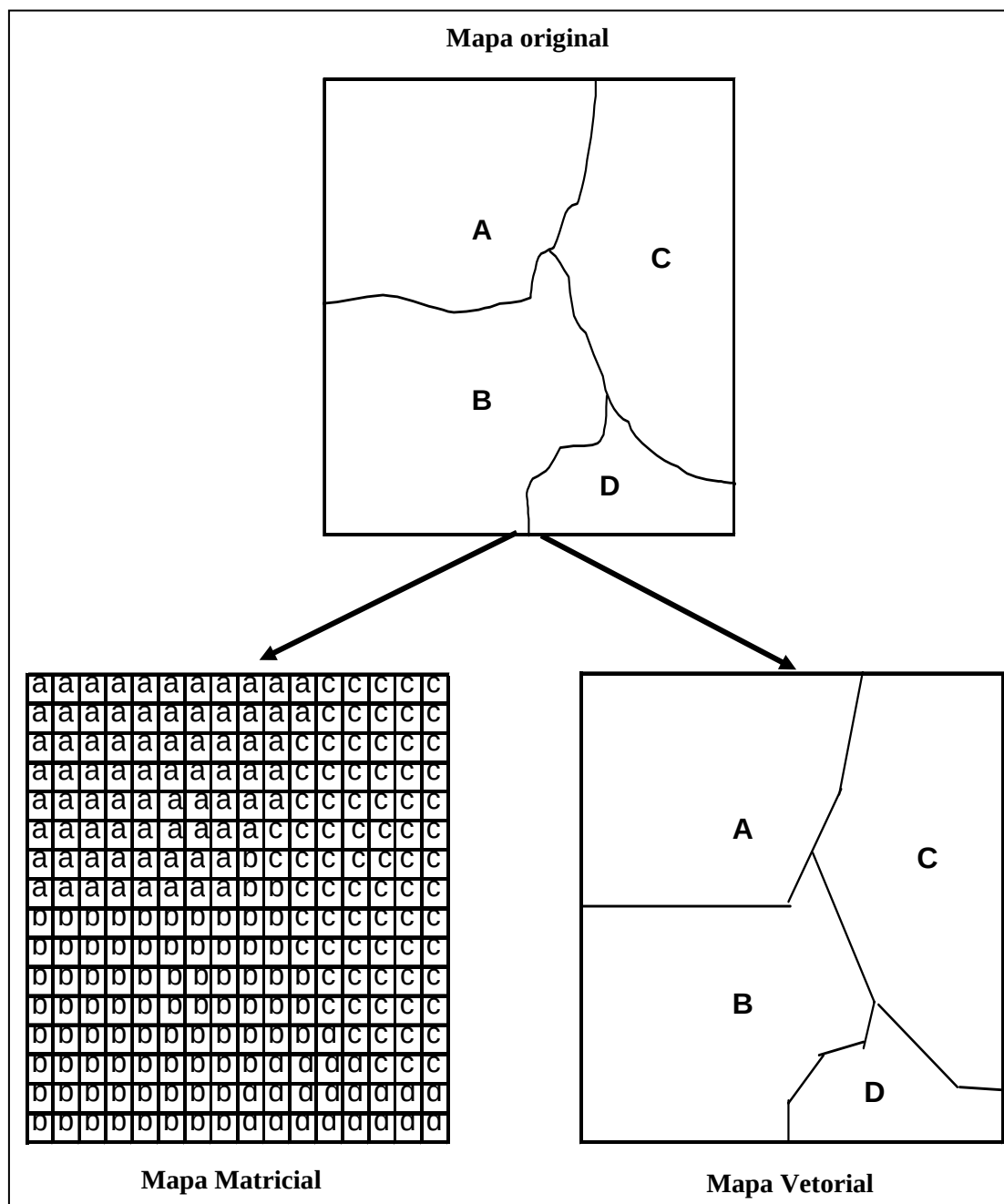


**Figura 2: Representações Matricial e Vetorial de mapas.**

*Fonte: Adaptado de Câmara e Medeiros (1998)*

Nos anos de 1990, a tecnologia dos Sistemas de Informações Geográficas passou a ser aplicada também na resolução de problemas de logística, como roteirização de veículos, otimizando rotas para, entre outras funções, minimizar os custos dos serviços, otimizar o uso de frotas e melhorar a qualidade de serviços de transporte de pessoas e cargas.

### 3.3 ROTEIRIZAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DE VEÍCULOS

Segundo Ferreira Filho e Melo (2005), a grande concentração populacional nos grandes centros urbanos tem provocado o aparecimento de um número cada vez maior de pontos de atendimento. Ao mesmo tempo, tentando evitar o "caos urbano", provocado por um número cada vez maior de veículos, as companhias de engenharia de tráfego têm imposto uma série de restrições pelo tamanho dos veículos e horários de circulação nas operações de coleta e/ou entrega de produtos.

De acordo com Ballou (2001) *apud* Aguiar (2003), os custos de transportes variam tipicamente entre um terço e dois terços do total dos custos logísticos. Reduzir o custo dos transportes e melhorar o serviço ao cliente através da busca dos melhores trajetos que um veículo deve fazer em uma rede viária, o qual minimizará o tempo ou a distância, é um problema freqüente de decisão. Embora as decisões de transporte se expressem em uma variedade de formas, entre as principais estão a roteirização e a programação.

Segundo Cunha (2005), o termo roteirização de veículos, embora não encontrado nos dicionários de língua portuguesa, é a forma que vem sendo utilizada como equivalente ao inglês *routing* (ou *routeing*) para designar o processo para a determinação de um ou mais roteiros ou seqüências de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de pontos geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, que necessitam de atendimento.

Assim, segundo Paes e Arica (2005), o objetivo dos problemas de roteamento em arco é determinar um circuito de custo mínimo, também chamado de rota, em um grafo com ou sem restrições, tal que todos os arcos sejam atravessados ao menos uma vez, ou seja, o problema de roteirização de veículos (PRV) consiste em definir roteiros de veículos que minimizem o custo total de atendimento, assegurando que cada ponto seja visitado exatamente uma vez e a demanda em qualquer rota não exceda a capacidade do veículo que a atende.

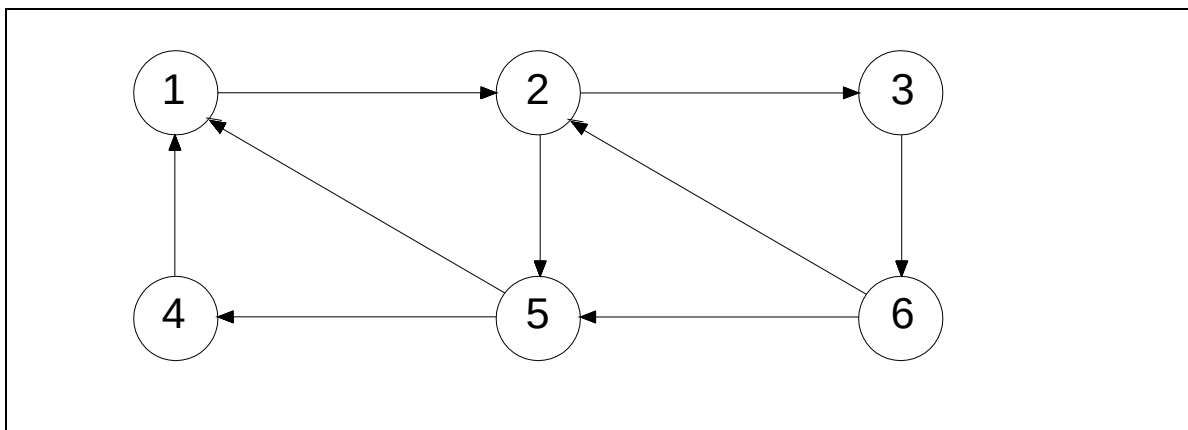
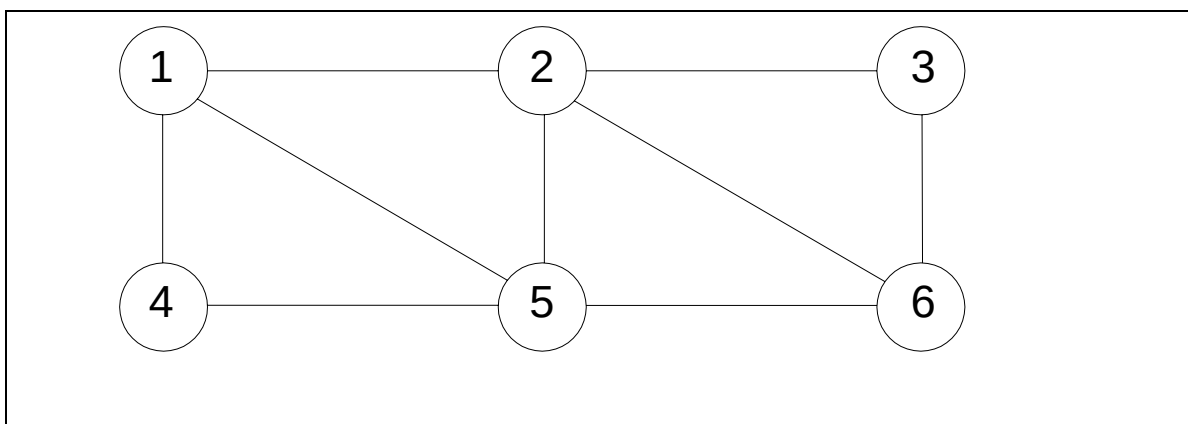
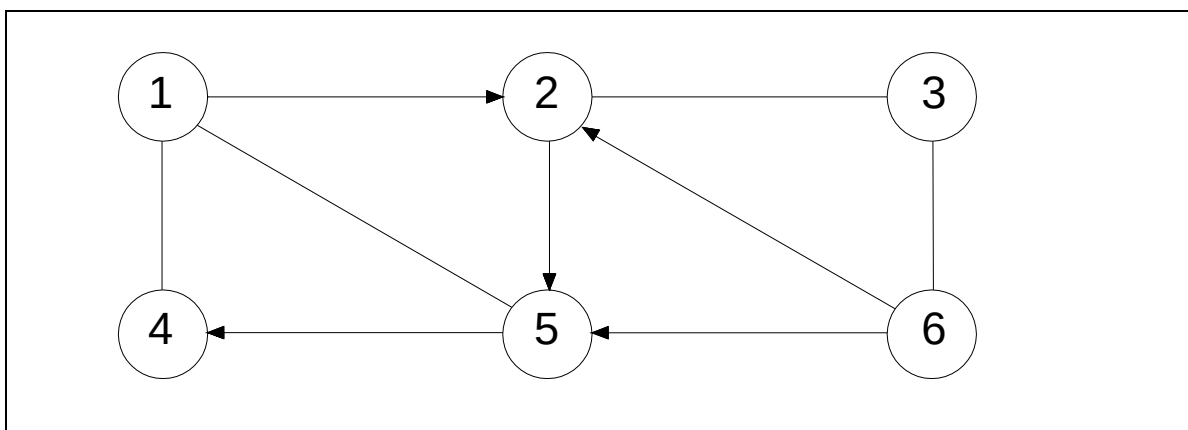
Existem muitas variações do PRV nas quais as operações podem ser de coletas e/ou entregas e as “exigências dos clientes” e os “veículos” podem assumir muitas variedades, de acordo com Pelizaro (2000). O PRV básico roteiriza os veículos (uma rota por veículo, começando e terminando no mesmo depósito), de forma que todos os clientes são atendidos em suas demandas e o custo total da viagem é minimizado.

De acordo com Cunha (2005), quando a definição dos roteiros envolve não só aspectos espaciais ou geográficos, mas também temporais, tais como restrições de horários de atendimento nos pontos a serem visitados, os problemas são então denominados roteirização e programação de veículos.

Alguns conceitos básicos são fundamentais para a melhor compreensão do tema roteirização de veículos, são eles:

- Grafo: um grafo  $G(N,A)$  é definido como sendo um conjunto finito de  $N$  nós unidos por um conjunto finito  $A$  de linhas chamadas arcos ou arestas. A representação de um grafo é através de pontos e linhas.
- Grafo orientado: se todas as linhas que unem os nós têm sentido, o que usualmente é mostrado por uma seta, elas são chamadas de arcos e o grafo resultante é denominado de grafo orientado.
- Grafo não-orientado: se não houver sentido em nenhuma linha, estas são chamadas arestas e o grafo resultante é denominado grafo não-orientado.
- Grafo misto: o grafo é denominado misto se possuir tanto arestas como arcos, ou seja, se existirem linhas orientadas e linhas não-orientadas.

As Figuras 3, 4 e 5 a seguir apresentam as formas de representação de grafos.

**Figura 3: Grafo ou rede orientada.****Figura 4: Grafo ou rede não orientada.****Figura 5: Grafo ou rede mista.**

Outros conceitos:

- Grau de um nó: o grau de um nó é igual ao número de arcos que incide sobre ele. O grau de um nó pode ser ímpar, se o número de arcos (ou arestas) incidentes for ímpar e par, caso contrário.

- Grafo conexo: diz-se que um grafo é conexo se existe pelo menos um caminho entre qualquer par de vértices.
- Roteiro de Euler: é um circuito que atravessa todos os arcos de um grafo somente uma vez. Por ser um circuito, ele necessariamente deve começar e terminar no mesmo nó.
- Trilha de Euler: é uma trilha que cobre todos os arcos de um grafo somente uma vez. Por ser uma trilha, o nó inicial não coincide com o nó final.

Segundo Cunha (2005), o primeiro problema de roteirização a ser estudado foi o do caixeiro viajante (*traveling salesman problem* – TSP), que consiste em encontrar o roteiro ou sequência de cidades a serem visitadas por um caixeiro viajante que minimize a distância total percorrida e assegure que cada cidade seja visitada exatamente uma vez. Neste caso, a otimização está relacionada à melhor sequência de visita aos pontos, de forma a minimizar o percurso total, atendendo às restrições de circulação de veículos e de horário de atendimento.

Desde então, novas restrições vêm sendo incorporadas ao problema do caixeiro viajante, de modo a melhor representar os diferentes tipos de problemas que envolvem roteiros de pessoas e veículos, entre as quais: restrições de horário de atendimento (conhecidas na literatura como janelas de tempo ou janelas horárias), capacidades dos veículos, frota composta por veículos de diferentes tamanhos, duração máxima dos roteiros dos veículos (tempo ou distância), etc.

Quando a demanda se localiza nos arcos ao invés de nos nós, ou seja, não há pontos ou locais específicos a serem atendidos, tem-se o problema do carteiro chinês, ou *chinese postman problem*. Segundo Parra et al. (2000), o problema consiste em achar um caminho de comprimento mínimo que passe ao menos uma vez por cada trecho, escolhendo uma rota de forma racional, garantindo que o percurso total seja mínimo, considerando que haverá trechos a serem percorridos mais de uma vez.

Neste caso, a otimização está relacionada para assegurar a minimização do percurso improdutivo dos veículos, decorrente da passagem do veículo em algumas vias ou trechos de vias por mais de uma vez, de forma a permitir atingir e trafegar por outras vias, em função de problemas de circulação e de tráfego de veículo.

De acordo com Paes e Arica (2005), estes problemas surgem em diversos contextos práticos dos setores público e privado, onde há necessidade de otimizar a rota como, por exemplo, na distribuição de cartas, na coleta de lixo doméstico, na varrição e lavagem de ruas, na inspeção de redes elétricas, entre outros.

Em relação aos problemas de roteirização de veículos de coleta de resíduos sólidos urbanos, muitos autores apresentaram propostas para estabelecimento de roteiros de veículos de coleta baseadas na experiência particular e na aplicação de alguns recursos técnicos, porém sem a utilização de técnicas matemáticas. São métodos intuitivos, baseados em parâmetros topográficos e geográficos dos setores ou áreas a serem coletadas.

O roteiro de um veículo pode ser definido como a ordem ou sequência que um conjunto de serviços, tarefas ou atendimentos são realizados. Segundo Parra et al. (2000), dependendo do tipo e da natureza do serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos, as tarefas a serem realizadas ao longo do roteiro enquadram-se no problema do carteiro chinês ou o problema do caixeiro viajante, conforme descritos a seguir:

- Serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares: O veículo coletor deve sair de um nó (garagem) e voltar a ele cobrindo toda a rede de forma a minimizar a extensão total percorrida. O problema consiste em achar um caminho de comprimento mínimo que passe ao menos uma vez por cada trecho de rua que compreende o setor de coleta. Tal situação enquadra-se no problema do carteiro chinês, que escolhe uma rota de forma racional, garantindo que o percurso total seja mínimo, considerando que haverá trechos a serem percorridos mais de uma vez. Não há pontos ou locais específicos a serem atendidos; todos os quarteirões e trechos de vias necessitam ser percorridos para a coleta de lixo.

- Serviços de coleta de resíduos de serviços de saúde e coleta de resíduos industriais: Nestes dois exemplos, há pontos específicos e bem localizados para coleta ou atendimento. Assim, a otimização está relacionada à melhor seqüência de visita aos pontos, de forma a minimizar o percurso total, atendendo às restrições de circulação de veículos e de horário de atendimento. Estas situações enquadram-se em algoritmos para o problema do caixeiro viajante: as tarefas a serem realizadas durante os roteiros correspondem a pontos ou locais específicos que devem ser visitados. Assim, a otimização está relacionada à melhor seqüência de atendimento aos pontos de coleta (hospitais, clínicas, indústrias, etc.), de forma a minimizar o percurso total, atendendo às restrições de circulação de veículos e de horário de atendimento.

Segundo Deluqui (2003), o desenvolvimento de rotas tem sido facilitado pela disponibilidade de ferramentas provenientes de técnicas da heurística e utilizam programas computacionais designados especificamente para propor, selecionar e programar roteiros de coleta.

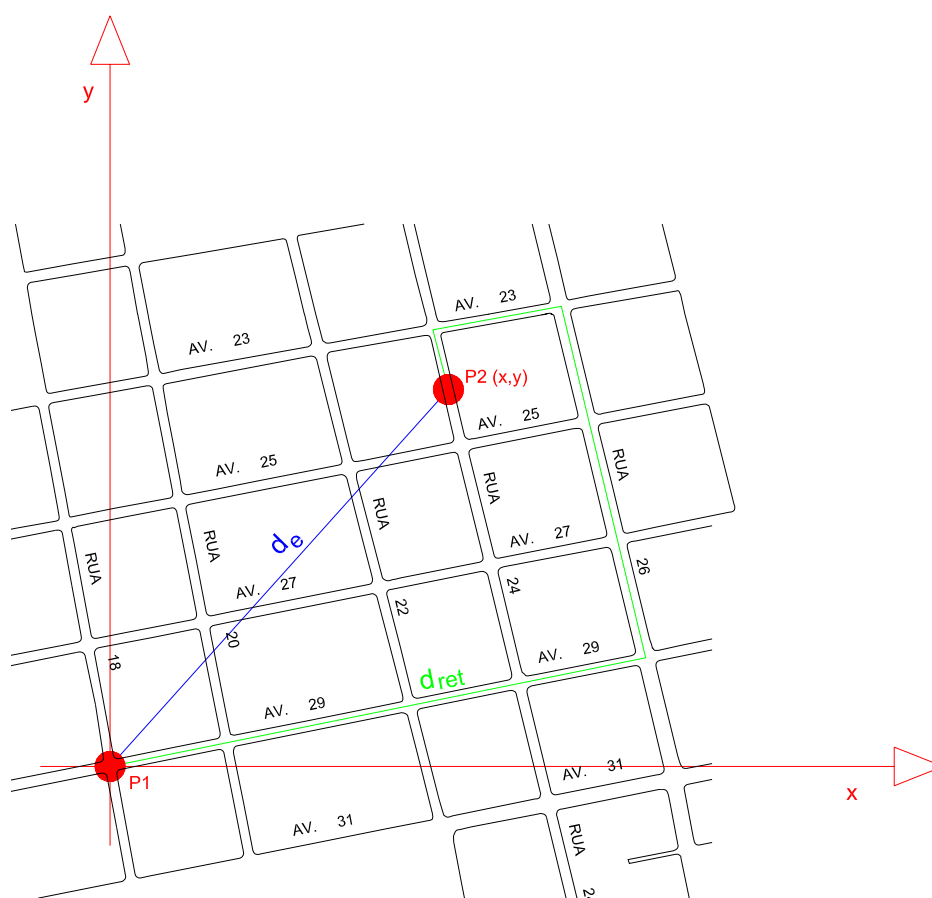
De acordo com Parra et al. (2000), existem alguns *softwares* para a elaboração de roteiros ou itinerários otimizados de veículos de coleta de lixo, que também podem ser utilizados para a elaboração de circuitos de varrição de ruas. Sua utilização permite definir um conjunto de roteiros que atendam a uma região, definindo percursos com o menor custo (número de viagens, número de veículos e tempo total) e atendendo às restrições de circulação dos veículos nas ruas da cidade, de capacidade dos caminhões e de duração da jornada de trabalho da guarnição. Os *softwares* em geral são dotados de recursos de SIG que permitem representar, graficamente, por meio de mapas na tela do computador, os dados do sistema viário e dos pontos de atendimento.

O autor ressalta também, que a obtenção de boas soluções por esses pacotes depende não só do modelo matemático e algoritmo de solução, como também dos dados de entrada para o modelo, em particular os dados que representam o sistema viário e suas restrições de circulação de veículos.

Cunha (2005) observa que nas formulações matemáticas de problemas de roteirização de veículos pressupõe-se ser conhecido um grafo ou rede  $G=(N, A)$  composto de um conjunto de nós  $N$  e de arcos  $A$ . O conjunto de nós “ $N$ ” representa um conjunto de pontos a serem atendidos e a base onde se localizam os veículos. O conjunto de arcos “ $A$ ” representa as ligações entre todos os pares de nós em “ $N$ ”, para os quais são conhecidas as distâncias e os tempos de viagem.

Assim, o processamento de um algoritmo para um problema de roteirização deve ser precedido pela etapa de obtenção do grafo  $G$ . Isto envolve a localização geográfica ou espacial dos pontos de atendimento e a determinação das distâncias e dos tempos de viagem entre os mesmos. Este é um aspecto pouco discutido, mas de fundamental importância para a aplicação de modelos matemáticos em problemas reais de roteirização, uma vez que, em muitos casos, a forma como o grafo  $G$  é obtido e representado pode ser decisiva para a qualidade dos resultados obtidos e para a viabilidade de execução dos roteiros; às vezes tanto quanto a qualidade dos algoritmos de solução.

Ainda segundo o autor, alguns *softwares* adotam um modelo mais simplificado para determinação do grafo: os pontos de atendimento e a base onde se localizam os veículos são representados através de algum sistema de coordenadas, geralmente cartesianas ou georeferenciadas (latitude e longitude). Neste caso, as distâncias nos arcos são calculadas com base nas coordenadas dos pontos, segundo alguma métrica (distância Euclideana ou retangular), cujas representações são apresentadas na Figura 6.



Onde:  $d_e$  = distância Euclidiana:

$$d_e = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$d_{ret}$  = distância retangular: distância exata a ser percorrida para deslocar do ponto P1 para o ponto P2.

**Figura 6: Representação das distâncias Euclidiana e retangular.**

Conforme será detalhado no item 3.5.2, alguns *softwares* oferecem ainda o recurso adicional de cadastramento de barreiras geográficas, através de linhas ou polígonos, de modo a representar obstáculos naturais (tais como rios, montanhas, lagos, parques, etc.) ou artificiais (ferrovias, rodovias expressas, etc.) que não podem ser atravessados. Nesse caso, no cálculo das distâncias (em linha reta) é considerado o percurso adicional para contornar o obstáculo ou para a sua transposição através de pontos específicos (tais como pontes sobre rios).

Já outros *softwares* possuem interfaces com mapas digitais georeferenciados ou Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para representar os pontos de atendimento e a malha viária por onde trafegam os veículos.

### 3.4 SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL – GPS

Segundo Tolentino (2003), o GPS é um sistema de rádio-navegação baseado no uso de satélites artificiais na órbita da Terra, estações fixas de monitoramento e receptores móveis. O sistema foi desenvolvido e é controlado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos e permite aos usuários que estiverem em qualquer parte do planeta, seja no ar, na terra ou no mar, determinarem sua posição tridimensional (latitude, longitude e altitude), velocidade de deslocamento, distância percorrida e tempo, além de outras informações, 24 horas por dia, livre de taxas.

A grande vantagem deste sistema é a sua capacidade de integração com outros sistemas, ressaltando-se sua relação com os Sistemas de Informação Geográfica, capaz de produzir mapas digitais em tempo real com alta precisão. A interface entre os dois sistemas permite uma maior velocidade na obtenção e tratamento dos dados georreferenciados, sendo o GPS o ponto chave da junção destes dois sistemas, pois permite inicialmente a aquisição de dados, os quais constituirão a base geométrica para a análise espacial pelos SIG's (BERNARDI e LANDIM, 2002).

De acordo com Tolentino (2003), o GPS é um sistema de posicionamento global via satélite elaborado inicialmente para aplicação no mundo militar e o nome originou-se da sigla do projeto militar norte-americano Navstar GPS (*Navigation satellite timing ranging – global positioning system*), criado em 1973. O sistema foi desenvolvido a partir da Segunda Guerra Mundial, quando desenvolveu-se a capacidade de medir lapsos de tempo entre a emissão e recepção de ondas de rádio, o que permitiu a criação do Radar (*Radio detection and ranging*).

Somente em 1985 foi iniciada a produção de aparelhos GPS e foi finalizada a rede de satélites. A configuração final só foi atingida em 1994. De acordo com Tolentino (2003), a constelação completou-se com os 24 satélites, operando simultaneamente a uma altitude de 20.200 quilômetros, perfazendo a órbita a cada 12 horas.

De acordo com G.P.S. (2005), inicialmente projetado para uso militar, o sistema foi liberado para uso civil em 1980, por uma decisão do então presidente dos EUA Ronald

Reagan. Nessa época, para resguardar a segurança do país, o Departamento de Defesa dos EUA implantou um erro artificial no sistema, chamado “disponibilidade seletiva” para o uso civil. Os receptores GPS militares ficaram com precisão de um metro e os de uso civil, de aproximadamente 100 metros.

O desenvolvimento constante do sistema permitiu ao Departamento de Defesa dos EUA “inserir” erros no sinal do GPS onde e quando os interesses americanos exigissem. Isso proporcionou o cancelamento do erro de “disponibilidade seletiva” por um decreto do então presidente Bill Clinton. Assim, o erro na localização dos receptores GPS de uso civil passou para a faixa dos cinco a dez metros.

Os sinais de rádio emitidos pelo satélite são de alta frequência. A potência de transmissão dos sinais é de apenas 50 watts. Esses sinais de baixa potência emitidos continuamente e que portam poucas informações são receptados a cada instante pelos receptores GPS. Quando em deslocamento, o aparelho GPS reposiciona-se a cada instante, criando uma sequência de *waypoints*, permitindo assim, o desenho da trilha percorrida.

O bom funcionamento dos sinais enviados pelos satélites é garantido pelas estações terrestres de controle e monitoramento, que captam seus sinais enviando-lhes correções se necessário, cooperando assim, na atualização dos almanaques, que são dados que informam ao microprocessador do receptor parâmetros de órbitas e onde procurar cada satélite a qualquer momento do dia. A hora-padrão é altamente precisa porque cada satélite possui quatro relógios atômicos.

Com um mínimo de três satélites, o receptor GPS pode determinar uma posição fixa 2D, ou seja, bidimensional (latitude e longitude). Com a recepção de quatro ou mais satélites, pode-se determinar uma posição fixa 3D (latitude, longitude e altitude).

Alguns fatores afetam a precisão do sistema, como o efeito dos elétrons livres da ionosfera, atraso na transmissão do sinal devido a componentes secos e úmidos presentes na troposfera, diferença entre o tempo do satélite e o tempo do sistema GPS (erro do relógio do satélite) e entre o tempo recebido e o tempo do sistema GPS (erro do relógio do receptor).

Entretanto, um dos fatores mais importantes que afetam a precisão dos receptores GPS é a “geometria dos satélites”, ou seja, a localização dos satélites em relação uns aos outros sob a perspectiva do receptor GPS. Por exemplo, se um receptor estiver localizado sob quatro satélites e todos estiverem na mesma região do céu, a triangulação é pobre, pois todas as medidas de distância provêm de uma mesma direção geral. Se os mesmos quatro satélites estiverem espalhados em várias direções, a precisão aumenta drasticamente, pois quanto maior o ângulo entre sinais, melhores serão a recepção e a precisão do sistema.

Além de sua aplicação na aviação geral e comercial e na navegação marítima, qualquer pessoa que queira saber sua posição, encontrar seu caminho para determinado local (ou de volta ao ponto de partida), conhecer a velocidade e direção de seu deslocamento pode se beneficiar com o sistema.

Sistemas de transportes e logística utilizam-se do sistema GPS para orientar o deslocamento em grandes cidades, especialmente quando há a disponibilidade de mapas detalhados e a localização de pontos de interesse. Em alguns países, os sistemas de localização já são disponibilizados em veículos mais sofisticados, permitindo a orientação de motoristas nos deslocamentos.

De acordo com G.P.S. (2005), são muitas as aplicações do sistema GPS. Por exemplo, agrimensores diminuem custos e obtêm levantamentos precisos mais rapidamente com o GPS. Unidades específicas têm custo aproximado de 3.000 dólares e precisão de 1 metro, mas existem receptores mais caros com precisão de 1 centímetro. A coleta de dados por estes receptores é bem mais lenta.

Guardas florestais, trabalhos de prospecção e exploração de recursos naturais, geólogos, arqueólogos, bombeiros, são enormemente beneficiados pela tecnologia do sistema. O GPS tem se tornado cada vez mais popular entre ciclistas, balonistas, pescadores, ecoturistas ou por leigos que queiram apenas planejar e se orientar durante suas viagens.

Com a popularização do GPS, um novo conceito surgiu na agricultura: a agricultura de precisão. Uma máquina agrícola dotada de receptor GPS armazena dados relativos à

produtividade em um cartão magnético que, tratados por programa específico, produz um mapa de produtividade da lavoura. As informações permitem também otimizar a aplicação de corretivos e fertilizantes. Lavouras americanas e européias já utilizam o processo que tem enorme potencial no Brasil.

A leitura da altitude fornecida pelo receptor também é afetada pelo erro do sistema. Porém, um erro de 10 metros numa dimensão de 100; 200 ou 500 metros é proporcionalmente muito grande e perigosa, dependendo da atividade desenvolvida.

Os sinais dos satélites não penetram em vegetação densa, vales estreitos, cavernas ou na água. Montanhas altas ou edifícios próximos também afetam sua precisão. Para o uso automotivo, deve-se providenciar uma extensão para fixar a antena externamente ou posicionar o receptor junto ao pára-brisas. É importante que o receptor utilize pilhas comercializadas no nosso mercado e que tenha como acessório um adaptador para ligá-lo no acendedor de cigarros do veículo. Para o uso em ambiente marinho, é fundamental que o receptor seja a prova d'água para evitar corrosão em seus componentes.

De acordo com Tolentino (2003), os receptores GPS podem ser do tipo simples e portáteis, do tamanho de telefones celulares, ou os mais sofisticados, que equipam os carros modernos e aqueles mais específicos com computadores de bordo em aviões e navios.

Além de receber e decodificar os sinais dos satélites, os receptores permitem o uso de sistemas de medidas, sistemas de coordenadas, armazenamento de dados, troca de dados com outro receptor ou com um computador, armazenamento de mapas em sua memória, etc. Mais do que indicar a localização de um ponto do globo terrestre, definidas a partir de coordenadas geográficas, um receptor GPS pode também fornecer outras informações ao usuário, como listadas a seguir:

- Velocidade de deslocamento;
- Velocidade média desde o início do deslocamento;
- Velocidade máxima desde o início do deslocamento;
- Direção do deslocamento ou proa;
- O rumo que se deve manter para chegar ao destino;

- A direção angular entre sua localização e o destino
- Hora de data com precisão de relógio atômico
- Tempo de viagem desde o início do deslocamento;
- Distância percorrida desde o início do deslocamento, etc.

O sistema direcional do receptor GPS pode ser aplicado em transportes, utilizando-se as funções *Route* (rota) e/ou *Track log*. A seguir, são descritas as características e aplicações destas funções:

- *Waypoint (WPT)*: Um *waypoint* é um ponto de navegação registrado no receptor GPS através de sua latitude e longitude, ou seja, é um endereço geográfico. O receptor GPS, quando em deslocamento, coleciona automaticamente uma sequência de *waypoints* dos locais por onde passa e reposiciona-se a cada segundo. Assim, essas sequências de posições permitem estabelecer a direção de deslocamento.
- *Route (RTE)*: Chama-se *route* (rota) ao conjunto de *waypoints* predefinidos que formam um trajeto a ser seguido para se chegar a um ponto-destino, isto é, um curso planejado de viagem definido por uma sequência de pontos. A função *route* do GPS é importante porque permite que o receptor guie o usuário do primeiro ponto ao próximo e assim sucessivamente até o destino.
- *Track log*: No deslocamento através da rota, o GPS traça (ou plota) o caminho real percorrido entre os pontos. Esse recurso é conhecido como *track log* e significa um traçado do caminho real ou possível que pode ser executado por sobre uma rota anteriormente definida ou existente. Os *waypoints* pertencentes a um traçado são denominados *trackpoints*. Sempre que habilitado, o marcador de percurso inicia a memorização e o traçado do deslocamento efetuado pelo usuário com o receptor, que pode ser armazenado e transferido para um computador e até mesmo disponibilizado na Internet, por exemplo. Este recurso é ideal para o mapeamento de rotas existentes, como rotas de coleta de resíduos ou de transporte escolar.
- *Track back*: o GPS grava em sua memória o deslocamento, permitindo retrazar o caminho de volta ao ponto de partida, ou seja, refazer o caminho de retorno em

cima do traçado original. Esse recurso, conhecido como *track back*, é fundamental para o uso em barcos, *trekkings* e expedições *off-road*.

A utilização destas funções depende dos objetivos que se pretende alcançar. Por exemplo, para o mapeamento de rotas ou trilhas existentes, com a finalidade de se obter os dados relativos aos percursos, como distâncias percorridas, tempos e velocidades de deslocamento, utiliza-se a função *Track log* do receptor GPS. Esta função armazena pontos em intervalos de tempo definidos pelo usuário e com isso traça a rota percorrida. A seguir, transferem-se estes dados para o *software* específico para o tratamento destas informações, como o *GPS TrackMaker*, onde é possível obter os indicadores da rota percorrida, bem como inserir informações dos percursos e alterar configurações do desenho. Com isso, pode-se exportar a planta para programas de desenho, como o AutoCAD.

### 3.5 APLICAÇÕES DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

A aplicação dos SIGs abrange diversas áreas do conhecimento. Conforme descrito nos itens 3.5.1 e 3.5.2, suas funções podem ser amplamente utilizadas para o planejamento urbano e ambiental e para o planejamento de transportes na busca por soluções de problemas de logística.

#### 3.5.1 Planejamento Urbano e Ambiental

Segundo Philippi Jr et al. (2004), a utilização de geotecnologia no planejamento ambiental tem desenvolvido extensas e variadas pesquisas acadêmicas, aplicativos de uso público e programas de aplicação e uso comercial. O número de dados socioambientais disponível, gerada nas últimas décadas, é bastante elevado. Nesse contexto, os Sistemas de Informações Geográficas são uma caixa de ferramentas digital para coleta, armazenamento, busca, análise, transformação e exposição de dados espaciais.

Ainda segundo os autores, o fenômeno mundial da urbanização tem modificado sobremaneira a forma de enfocar a questão ambiental. No Brasil, aproximadamente 20% da população vive em áreas consideradas rurais. A utilização dos recursos naturais, onde atualmente há menos população, demandará cada vez mais monitoramento e gestão por tecnologias de geoprocessamento.

De acordo com Silva e Quintanilha (1993), as tecnologias de Sistemas de Informação Geográfica têm sido apresentadas às prefeituras municipais como um instrumento eficaz para a gestão e planejamento. O sucesso de sua aplicação é condicionado a fatores como sua real utilidade, ser financeiramente compatível com os recursos financeiros do município e ser tecnicamente eficaz e eficiente.

Segundo Ferrari (1997), o uso de SIG em administrações municipais pode proporcionar benefícios, tais como:

- A digitalização da base cadastral fornece aos órgãos municipais uma base única e adequada para abranger os aspectos urbanos físicos, sociais e econômicos;
- Proporciona facilidades para a atualização dos dados;
- Facilita o acesso dos usuários às informações que sejam do seu interesse;
- Fácil combinação de dados que possibilita consultas complexas de forma rápida, que podem subsidiar projetos.

O autor ainda analisou a utilização dos SIG's baseando-se na classificação das atividades de uma organização em três níveis: operacional, gerencial e estratégico, apresentados na Tabela 4. Cada nível tem características próprias e, por isso, são distintos os benefícios advindos do uso dos SIG's em cada um dos níveis:

- **Operacional:** o benefício imediato do uso dos SIG's no suporte a atividades do nível operacional é a eficiência, ou seja, a execução das atividades que já vêm sendo realizadas manualmente, só que de maneira mais eficiente, gastando menos recursos.
- **Gerencial:** o benefício imediato é a eficácia administrativa (boas informações, bons planos, bom gerenciamento, boas decisões) que, como consequência, geram outros

tipos de benefícios a longo prazo, como retorno financeiro, melhoria da imagem, benefícios à população, entre outros.

- **Estratégico:** os benefícios referem-se a uma boa imagem, à credibilidade, ao bom relacionamento com a comunidade, poder legislativo, outras esferas de governo, agências de desenvolvimento, entre outros, e ao aumento da receita com mapeamento e gerenciamento da arrecadação.

A Tabela 4 apresenta alguns exemplos e funções típicas de SIG utilizados por prefeituras nos três níveis de planejamento citados (FERRARI, 1993):

**Tabela 4: Exemplos de funções típicas de um SIG em prefeituras**

| Nível       | Função                                                                                              |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Operacional | Regularização e projeto de vias públicas                                                            |
|             | Definição de valores tributários                                                                    |
|             | Controle de equipamentos urbanos                                                                    |
|             | Controle operacional do transporte coletivo municipal                                               |
|             | Controle da manutenção da rede de pavimentação                                                      |
|             | Projeto e controle de galerias e microdrenagens                                                     |
|             | Controle da sinalização viária                                                                      |
|             | Cadastro de vigilância sanitária                                                                    |
|             | Controle da arborização urbana                                                                      |
|             | Acompanhamento de obras públicas                                                                    |
|             | Controle e fiscalização dos lançamentos de efluentes sanitários                                     |
|             | Roteirização / roteamento                                                                           |
|             | Determinação de rotas para a coleta de lixo                                                         |
|             | Projeto de expansão de rede de esgotamento pluvial                                                  |
|             | Geração de plantas de valores                                                                       |
| Gerencial   | Acompanhamento de endemias                                                                          |
|             | Avaliação das diretrizes e normas para uso e ocupação do solo urbano e classificação viária         |
|             | Delimitação de áreas sujeitas a inundações                                                          |
|             | Gerenciamento de bacias hidrográficas, preservação de mananciais e fundos de vale                   |
|             | Registro e controle de poluição                                                                     |
|             | Análises e gerenciamento do transporte coletivo municipal                                           |
|             | Análise de acesso da população aos equipamentos urbanos                                             |
|             | Preservação do patrimônio histórico                                                                 |
|             | Análise de acidentes de trânsito                                                                    |
|             | Diretrizes viárias                                                                                  |
|             | Diretrizes para novos loteamentos                                                                   |
|             | Estudos da distribuição e abrangência de equipamentos sociais urbanos                               |
|             | Gerenciamento de áreas verdes e de preservação ambiental                                            |
|             | Controle de doenças transmissíveis                                                                  |
|             | Cobertura vegetal                                                                                   |
|             | Administração de áreas de risco diversas: risco geológico, de inundação, da saúde/sanitário, social |
|             | Geração de mapas temáticos: padrão de edificação, pavimentação de ruas                              |
|             | Definição de áreas para depósitos de lixo e aterros sanitários                                      |
|             | Identificação dos locais com maior índice de acidentes de trânsito                                  |
| Estratégico | Reestruturação do trânsito                                                                          |
|             | Análises da evolução da ocupação urbana e política de vazios urbanos                                |
|             | Estudos do uso do solo e eficiência do sistema viário                                               |
|             | Análise de aspectos demográficos                                                                    |
|             | Atualização do plano diretor da cidade                                                              |
|             | Monitoramento do índice de qualidade de vida                                                        |
|             | Planejamento de expansão de infra-estrutura                                                         |
|             | Acompanhamento do índice de satisfação da população por área                                        |

Fonte: Adaptado de Ferrari, 1997.

A seguir, são apresentados os sistemas de roteirização e programação de veículos, suas definições e aplicações e a caracterização dos problemas. São abordadas também a importância dos SIG's na busca das melhores soluções em roteirização e programação de veículos e os tipos de problemas aplicados à coleta e transporte de resíduos sólidos.

### 3.5.2 Planejamento de Transportes

Segundo Ferreira Filho e Melo (2005), os sistemas de Roteirização e Programação de Veículos ou, simplesmente, Roteirizadores são sistemas computacionais que, através de algoritmos, geralmente, heurísticos e uma apropriada base de dados, são capazes de obter soluções para problemas de roteirização e programação de veículos (PRPV) com resultados relativamente satisfatórios, consumindo tempo e esforço de processamento relativamente pequenos quando comparados aos gastos nos tradicionais métodos manuais.

Nos anos de 1990, o estrondoso avanço tecnológico, em termos computacionais, associado às intensas pesquisas desenvolvidas na área de pesquisa operacional, foi fundamental para o desenvolvimento de melhores soluções aos PRPV. Nesse mesmo período, muitos desses sistemas passaram a contar com o apoio da tecnologia dos SIG's, permitindo, além de uma perfeita visualização e edição de rotas e paradas em mapas já utilizados pelos motoristas, identificar e geocodificar todos os pontos de atendimento a partir dos próprios endereços dos clientes, bem como armazenar quaisquer tipos de informações referentes aos mesmos.

Para Bodin (1990) *apud* Ferreira Filho e Melo (2005), a mais significativa mudança com relação aos sistemas para roteirização e programação de veículos ocorreu no ambiente computacional. Em sua primeira geração, quando os sistemas de roteirização e programação de veículos eram executados nos chamados *mainframes*, os resultados gerados nem sempre podiam ser conhecidos imediatamente, pois dependiam tanto do tempo de processamento como da sua prioridade na fila de espera para resolução. Além disso, esses sistemas não apresentavam recursos gráficos e interativos e não era possível testar alterações manualmente nas soluções obtidas, de modo a atender restrições não consideradas explicitamente nos parâmetros de entrada do modelo.

Segundo Ferreira Filho e Melo (2005), logo depois, surgiram os sistemas auxiliados por computador para roteirização de veículos, que, em vez de fornecer ao usuário uma solução pronta, auxiliavam-no a examinar em menor tempo diferentes alternativas, permitindo ao usuário (programador ou despachador) preocupar-se com as condicionantes do problema mais difíceis de serem consideradas, e ainda visualizar os impactos econômicos e operacionais decorrentes de alterações manuais.

A demanda pela utilização de tais sistemas cresceu bastante nos últimos anos em função, dentre outras razões, devido às exigências dos clientes com relação a prazos, datas e horários de atendimento (principalmente entregas) e o agravamento dos problemas de trânsito, acesso, circulação e estacionamento de veículos nos centros urbanos, em particular caminhões, de acordo com Cunha (2005). Além disso, os sistemas são dotados de poderosos recursos gráficos e podem fornecer resultados (ex.: roteiro e programação de cada veículo, relatórios de utilização dos veículos, relatórios de programação do motorista, etc.) que são de grande importância para o processo de tomada de decisão.

Atualmente, tais sistemas podem considerar inúmeros tipos de restrições ou condicionantes (ex.: um ou mais depósitos, janelas de tempo, vários tipos de veículos, tempos de parada, velocidades variáveis, limitações de capacidade, múltiplos compartimentos por veículo, barreiras físicas, restrições de circulação de veículos e de jornadas de trabalho, etc.) que tornam possível a obtenção de modelos muito próximos da realidade atual. A Tabela 5 apresenta as principais características de *softwares* comerciais para a roteirização de veículos.

A Tabela 6 apresenta as características dos problemas de roteirização e programação, de acordo com Bodin et al. (1983) *apud* Aguiar (2003).

**Tabela 5: Principais características de *softwares* comerciais.**

|                           |                                                      |
|---------------------------|------------------------------------------------------|
| Características           | Diferentes tipos de veículos                         |
|                           | Coletas e entregas, <i>backhauls</i>                 |
|                           | Janelas de tempo                                     |
|                           | Tempo de carga e descarga                            |
|                           | Variação da velocidade                               |
|                           | Opção de contratação de serviços de terceiros        |
| Informações do Roteamento | Limites de capacidade do veículo                     |
|                           | Duração máxima do tempo de percurso                  |
|                           | Uso de horas extras                                  |
|                           | Horário de início e término do roteamento            |
|                           | Viagens de múltiplos dias, revezamento de motoristas |
|                           | Locais fixos para paradas                            |
|                           | Múltiplos roteiros por veículos                      |
| Objetivos                 | Minimizar distâncias                                 |
|                           | Minimizar tempos de viagem                           |
|                           | Minimizar número de veículos                         |
|                           | Minimizar custo total                                |
| Saídas                    | Itinerário e programação do roteiro                  |
|                           | Relatório de utilização do veículo                   |
|                           | Relatório da jornada do motorista                    |
|                           | Gráficos para roteiros                               |
|                           | Superposições com rede viária                        |
|                           | Localização de endereços                             |

Fonte: Assad (1988) *apud* Pelizaro (2000).

**Tabela 6: Características dos problemas de roteirização e programação.**

| CARACTERÍSTICAS                        | POSSIBILIDADES                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Tamanho da frota disponível         | -Um veículo<br>-Vários veículos                                                                                                                                                                                                                              |
| 2. Tipo da frota disponível            | -Homogênea (somente um tipo de veículo)<br>-Heterogênea (vários tipos de veículos)<br>-Veículos especiais (divididos em compartimentos)                                                                                                                      |
| 3. Garagem dos veículos                | -Um único depósito<br>-Vários depósitos                                                                                                                                                                                                                      |
| 4. Natureza da demanda                 | -Determinística<br>-Probabilística<br>-Parcialmente satisfeita                                                                                                                                                                                               |
| 5. Localização da demanda              | -Nos nós<br>-Nos arcos<br>-Misto                                                                                                                                                                                                                             |
| 6. Característica da rede              | -Não orientada<br>-Orientada<br>-Mista<br>-Euclidiana                                                                                                                                                                                                        |
| 7. Restrições da capacidade do veículo | -Impostas (todos os veículos com mesma capacidade)<br>-Impostas (veículos com diferentes capacidades)<br>-Não impostas (capacidade ilimitada)                                                                                                                |
| 8. Tempos máximos de rotas             | -Impostos (todas as rotas com o mesmo tempo máximo)<br>-Impostos (rotas com diferentes tempos máximos)<br>-Não impostos                                                                                                                                      |
| 9. Operações envolvidas                | -Somente coletas<br>-Somente entregas<br>-Mistas<br>-Entregas com “quebras” (permitidas ou proibidas)<br>-Volta carregada                                                                                                                                    |
| 10. Custos                             | -Variáveis ou custos de roteirização<br>-Fixos de operação ou custos de aquisição de veículos<br>-Custos comuns de transporte                                                                                                                                |
| 11. Objetivos                          | -Minimizar os custos totais de roteirização<br>-Minimizar a soma dos custos fixos e variáveis<br>-Minimizar o número necessário de veículos<br>-Maximizar a função utilidade (baseada no serviço ou na conveniência) ou (baseada nas prioridades do cliente) |

Fonte: BODIN et al. (1983) *apud* AGUIAR (2003).

Santos (1999) *apud* Aguiar (2003), afirma que os SIGs podem ser utilizados por profissionais da área de transporte e logística, auxiliando nas análises e geração de informações provenientes de dados espaciais. Estes sistemas, além de disponibilizarem recursos para armazenamento, gerenciamento e conversão de dados para um conjunto específico de aplicações, facilitam o uso de uma mesma base cadastral para diferentes

serviços que necessitam de dados geográficos, como por exemplo, a rede de infra-estrutura viária.

Lopes Filho (2006) apresenta algumas características peculiares que um SIG-T (Sistema de Informações Geográficas aplicado aos Transportes) deve possuir:

- Esquemas de representação de rede mais adaptados para aplicações em transportes. Isto se faz necessário, pois o SIG inicialmente tratava apenas do gerenciamento de recursos naturais. Nesta área de recursos naturais, o processamento de dados referentes a polígonos é mais importante que a representação de redes. Já esta última é uma das principais aplicações em transportes;
- Capacidades analíticas específicas. Modelos analíticos para a resolução de problemas de transportes, como a obtenção de caminhos mínimos, devem ser incorporados ao sistema para aumentar a sua utilidade.

O uso de Sistemas de Informações Geográficas em roteirização destaca-se pela precisão com que estes sistemas calculam a matriz do tempo de viagem e distância entre clientes. De acordo com Assad (1988) *apud* Pelizaro (2000), um SIG possibilita a localização automática de clientes e endereços, bem como a determinação da distância e tempo de viagem entre pontos de atendimento por meio da aplicação de algoritmos de caminhos mínimos (mínimo tempo ou mínima distância ou uma ponderação de ambos) sobre a rede que representa a malha viária da região de interesse.

O autor aponta duas razões para utilizar SIG's em roteirização:

- Exatidão na estimativa do tempo de viagem: subestimar o tempo de viagem conduz à faltas no prazo final, enquanto superestimar pode acarretar em subutilização do veículo e motorista, criando tempo improdutivo;
- Melhor qualidade de solução: associada a configuração da rota. Quanto mais detalhada for a rede, no sentido de cobertura de todos os nós e arcos (que representam as paradas e a ligação entre estas paradas), mais detalhadas serão as

informações com relação ao caminho e, conseqüentemente, maior será a precisão no cálculo do tempo de viagem, passado para o algoritmo de roteirização.

Um dos *softwares* aplicados à área de transportes é o TransCAD, uma ferramenta que incorpora além das funções básicas de um SIG, rotinas específicas para soluções de problemas de logística, de pesquisa operacional e transporte em geral. Suas aplicações são para todos os modos de transporte e de abrangência local, regional e nacional, como análise de rede (rotas mais curtas, mais rápidas, menor custo, etc.), planejamento de transportes e demandas de viagens (geração/distribuição de viagens, modelagens de escolha modal e alocação de demanda, etc.), roteirização e logística (operação de coleta e entrega, planejamento de distribuição, manutenção de instalações, coleta de lixo, percursos de leituras como água, etc.), regionalização e localização de instalações (localização de depósitos/instalações, delimitação de redes de serviços, etc.).

Rose (2001) afirma que o TransCAD possui potencialidades para analisar vários tipos de redes: de transporte público, metrovias, ferrovias, rodovias, etc. Possui ferramentas para a visualização de dados de transporte e disponibiliza métodos e modelos para análises de transportes. No seu sistema, a localização geográfica de elementos de transporte, bem como as infra-estruturas relacionadas, podem ser combinadas com os dados que a descreve. Os dados podem ser associados a pontos, linhas, áreas, redes ou rotas.

De acordo com Pelizaro (2000), as características que podem ser consideradas pelo TransCAD para a resolução de problemas de roteirização de veículos são: múltiplos depósitos, janelas de tempo rígidas, tempo fixo de serviço, tempo por unidade, restrição de comprimento total da rota, frota heterogênea e paradas “backhaul”.

Ferreira Filho e Melo (2005) afirmam que no Brasil são comercializados diversos sistemas de roteirização, sendo a maioria deles ainda desenvolvida no exterior, com heurísticas de solução que geralmente não são disponibilizadas pelos seus desenvolvedores. Além do TransCAD, os autores enumeram outros *softwares* e suas principais características, entre eles o Trucks, o Truckstops, o RoadShow e o ROTAcerta.

O Trucks é um dos sistemas mais antigos disponível no mercado nacional e o que se tem maiores registros de utilização. É um sistema complexo que requer a montagem, bem como a edição e atualização de uma rede viária realizada a partir de uma mesa digitalizadora. Com o mapa digitalizado, a malha viária é desenhada (acompanhando o contorno das ruas), e nela os clientes podem ser localizados no nível de quarteirão. A partir daí, este sistema define as rotas, excluindo trechos que apresentem barreiras naturais ou artificiais (congestionamentos, obras, acidentes, etc.), definindo velocidades de tráfego nas ruas, cadastrando todos os clientes, reduzindo o tempo de processo como um todo. Além disso, todas estas rotas podem ser visualizadas na tela de um microcomputador sobre a malha viária da cidade. Além disso, este sistema pode ainda tomar como referência rotas com pernoite, tempo de trabalho do motorista e custos de horas extras, bem como obter, como resultado final, uma estatística da roteirização, incluindo o custo total de cada rota.

O Truckstops parece utilizar como estratégia de solução um método de geração de roteiros iniciais através de uma heurística do tipo vizinho mais próximo, roteiros estes que podem ser melhorados através de uma heurística de intercâmbios de clientes dentro de um mesmo roteiro e entre veículos. Além desses, pode-se inserir dados geográficos tais como: mapas (detalhados ou não); barreiras geográficas naturais (rios, lagos, etc.) ou não (serviços de infra-estrutura, desvios, etc.) e dados de redes urbanas ou rodoviárias. Este sistema permite ao usuário indicar paradas e obter as melhores programações de rotas para cada veículo da frota; ajustar prioridades de carregamento; indicar todos ou alguns veículos como transportadores autônomos; consolidar paradas localizadas nos mesmos pontos, prédios ou alamedas; particionar grandes carregamentos para um único veículo; redespachar, se necessário, veículos de modo a suprir de forma mais eficiente a demanda de clientes.

O RoadShow possibilita a tomada de decisões baseada em custo reais de distribuição, considerando variáveis como tempo, tráfego, condições das ruas, entre outras. Segundo seu fabricante, utilizando-se o mouse, é possível criar, editar e atualizar a malha viária (nós e links), assim como modificar (ex. devido à adição de um novo cliente) suas rotas, recalculando e mostrando a nova rota, além das implicações de custo decorrentes de tais modificações. Nesse sistema, o mapa de operação, sobre o qual são exibidas as rotas, é scanneado do mesmo mapa usado por despachantes e motoristas, ou seja, com todos os detalhes importantes da região em questão, garantindo, assim, que as rotas não passem por

barreiras naturais ou artificiais. Este sistema trabalha com janelas de tempo rígidas ou flexíveis, definindo a frequência de atendimento e selecionando os dias mais adequados ao atendimento. Outra peculiaridade é o uso de dois monitores simultaneamente: um para representação gráfica do mapa scanneado e dos roteiros, e o outro contendo informações detalhadas do que está sendo exibido graficamente.

O ROTAcerta foi desenvolvido pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) em 1993. É um sistema com interface em português, utilizado especialmente no contexto de roteamento e programação de veículos em áreas urbanas, considerando fatores e restrições comumente encontrados nesse ambiente, porém quase nunca tratados (devido à dificuldade que introduzem) na programação manual. Suas aplicações estão ligadas a entregas domiciliares; bebidas, cigarros, jornais ou qualquer outro produto; fretamento de funcionários; coleta e distribuição para atacadistas; visitas de assistência técnica, vendedores, etc.; transporte de valores; e muitos outros. A partir da relação de clientes a atender e parâmetros dos tipos de veículos utilizados, este sistema determina os roteiros de coleta ou entrega e seus respectivos horários da frota, a fim de atender um conjunto de clientes ou tarefas, minimizando os custos totais de distribuição e atendendo a restrições do tipo:

- Capacidade de cada tipo de veículo em peso e/ou volume;
- Coleta e entrega simultânea (backhaul);
- Equipamentos especiais dos veículos para realizar os atendimentos;
- Faixa de horário de atendimento;
- Horas extras, duração máxima da jornada e horário de almoço;
- Tempos de viagem e de atendimento;
- Veículo máximo por cliente.

Sua otimização considera as parcelas de custo variável com distância percorrida, custo do tempo e custo fixo por veículo utilizado, cujos valores unitários podem ser fornecidos pelo usuário. Além disso, este sistema ainda fornece a seqüência de tarefas e os respectivos horários de atendimento para cada veículo da frota.

No Brasil existem diversos exemplos de sucesso de empresas na aquisição e utilização de sistemas de roteirização e programação de veículos. A definição do sistema a ser utilizado

por estas empresas considera questões como o seu ramo de atuação e os principais problemas a serem solucionados: otimização de frota, otimização de frota e rotas, redução de tempo de distribuição de produtos e quilometragens percorridas, redução de custos operacionais, etc.

Deluqui (2003) cita o trabalho realizado por Parafina (1995) que propôs a utilização do TransCAD na cidade de Austin, Texas, com o objetivo de consolidar o conhecimento das bases de dados de rotas e integrar com outras funções que fazem parte do gerenciamento de resíduos. Antes de o programa ser implementado, as rotas eram geradas manualmente e supervisionadas pelo analista de rota.

Como observado pela autora, na roteirização manual é difícil estimar a quantidade de resíduo coletada por cada caminhão e distribuir o peso igualmente pela equipe de coleta. Esta situação causava dificuldade no gerenciamento de operações diárias, por exemplo, algumas equipes terminavam o itinerário em 3 horas, enquanto outras levavam mais de 8 horas.

Outra aplicação do TransCAD no Brasil foi em pesquisa realizada por Lacerda (2003) na cidade de Ilha Solteira (SP). Neste estudo de caso, o autor utilizou o SIG-T como ferramenta para minimizar a extensão total a ser percorrida pelos veículos coletores de resíduos sólidos domiciliares daquela cidade, concluindo que é possível obter reduções das distâncias percorridas e do tempo total para a realização dos serviços, em relação a situação atual.

Algumas aplicações do TransCAD no Brasil também são apresentadas por Lemes (2004), entre elas o planejamento de transportes na análise de dados sobre acidentes, considerando aspectos referentes à localização, informação, seleção de dados e estatística dos acidentes, roteamento da entrega domiciliar de jornais, objetivando minimizar o tempo de passagem em arcos improdutivos, distribuição de correspondências para os depósitos auxiliares pelos Correios no Rio de Janeiro, entre outras aplicações, descritas por diversos autores.

# CAPÍTULO 4

## ESTUDO DE CASO

Neste capítulo são apresentadas as informações gerais de Ituiutaba (MG) e da coleta de resíduos sólidos domiciliares da cidade. Descreve-se também a situação da área central da cidade, escolhida para o estudo do presente trabalho, o mapeamento realizado nesta área por meio de receptores do sistema GPS e o tratamento dos dados coletados nos *softwares* GPS TrackMaker, AutoCAD e TransCAD. Em seguida, são apresentados os estudos do novo cenário de coleta de lixo nos setores desta área do estudo no *software* TransCAD.

### 4.1 LOCAL

Ituiutaba localiza-se na região do Triângulo Mineiro, distando cerca de 750 km da capital Belo Horizonte e possui 91.407 habitantes (previsões do IBGE, 2005). A emancipação política ocorreu em 1901 e o município passou a se chamar Vila Platina, pela lei nº 319, de 16 de setembro de 1901. O povoado cresceu e modernizou-se. Em 1915, a Vila Platina passou a se chamar Ituiutaba. A palavra tem origem no tupi-guarani, formada através da aposição das palavras i (rio), tuyu (Tijuco) e taba (povoação) (Petrágia, 2001).

Em pleno cerrado mineiro, o clima de Ituiutaba é tropical, com estação chuvosa bem definida no período de outubro a abril e período seco de maio a setembro. A região de Ituiutaba é banhada por três rios: Paranaíba, Tijuco e Rio da Prata, sendo este um afluente do Rio Tijuco, afluente do Paranaíba. Pertencente à bacia do Rio Tijuco, o Ribeirão São Lourenço é o primeiro e o principal manancial desde a década de 1970 de onde a água é

captada para o tratamento e distribuição à população. A contínua redução da vazão do manancial motivou a construção de uma nova captação de água, desta vez no Rio Tijuco.

A administração pública municipal contempla 07 secretarias, sendo elas Fazenda, Administração e Recursos Humanos, Saúde, Educação e Cultura, Indústria Comércio e Serviços, Planejamento, Agricultura e Obras e Serviços Públicos, esta última responsável pelos serviços de limpeza urbana. O poder administrativo de Ituiutaba é complementado com duas fundações – Fundação Cultural de Ituiutaba e Fundação Zumbi dos Palmares – e duas autarquias – a Caixa de Aposentadoria dos Servidores Municipais de Ituiutaba (CASMI) e a Superintendência de Água e Esgotos de Ituiutaba (SAE).

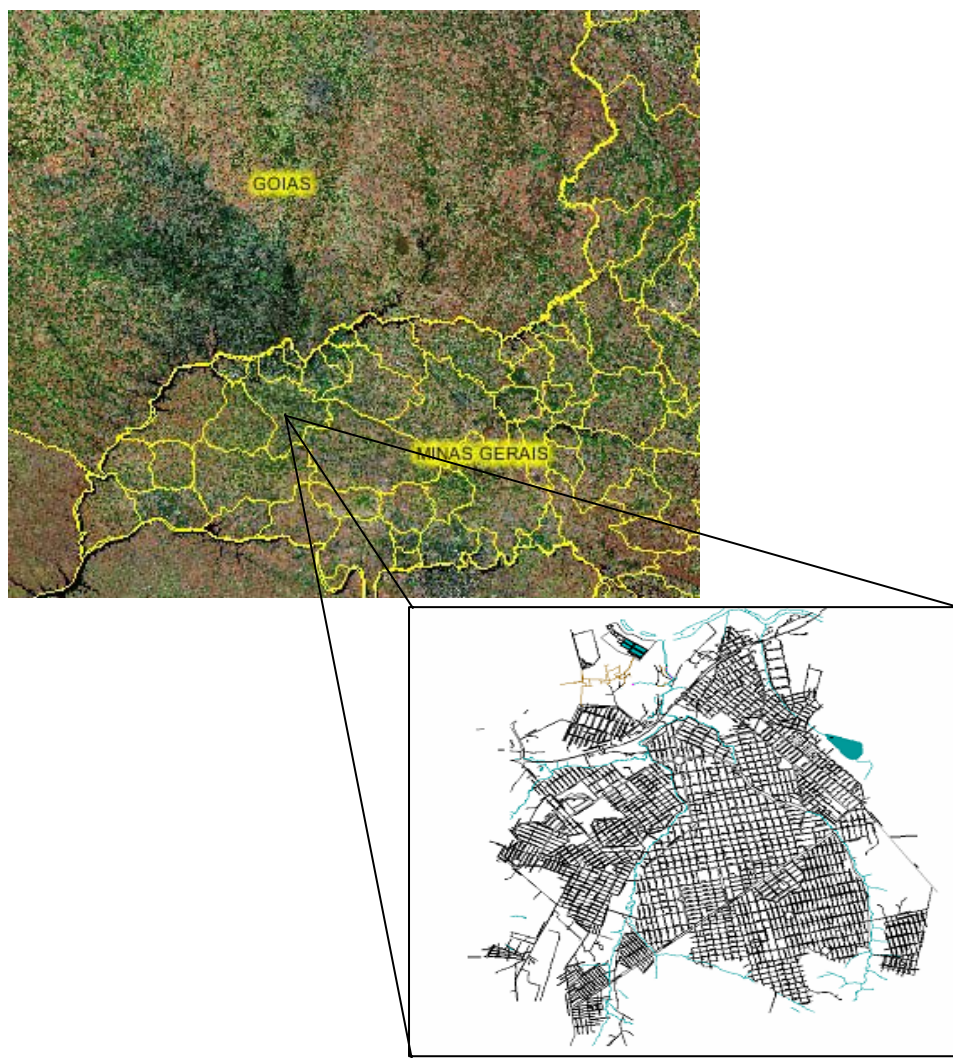


**Figura 7: Localização do município de Ituiutaba.**

A responsabilidade pelo manejo dos resíduos sólidos em Ituiutaba é do Departamento de Serviços Públicos da Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos, que a partir de abril de 2005, assumiu também a operação do Aterro Sanitário e o programa da Coleta Seletiva, este compartilhado com a Associação Ecológica Tijuco – ASETI, organização da sociedade civil de interesse público, que foram implantados pela SAE.

As seções de Limpeza Urbana e Tratamento e Destinação Final de Resíduos Sólidos do Departamento de Serviços Públicos operam os serviços inerentes aos resíduos sólidos: coleta de lixo domiciliar e de serviços de saúde, varrição, serviços gerais com máquinas pesadas (limpeza de terrenos, manutenção de vias não pavimentadas, remoção de entulhos, etc.), capina manual, química e mecanizada, coleta seletiva e aterro sanitário.

A estrutura funcional do Departamento de Serviços Públicos é mostrada na Figura 8.

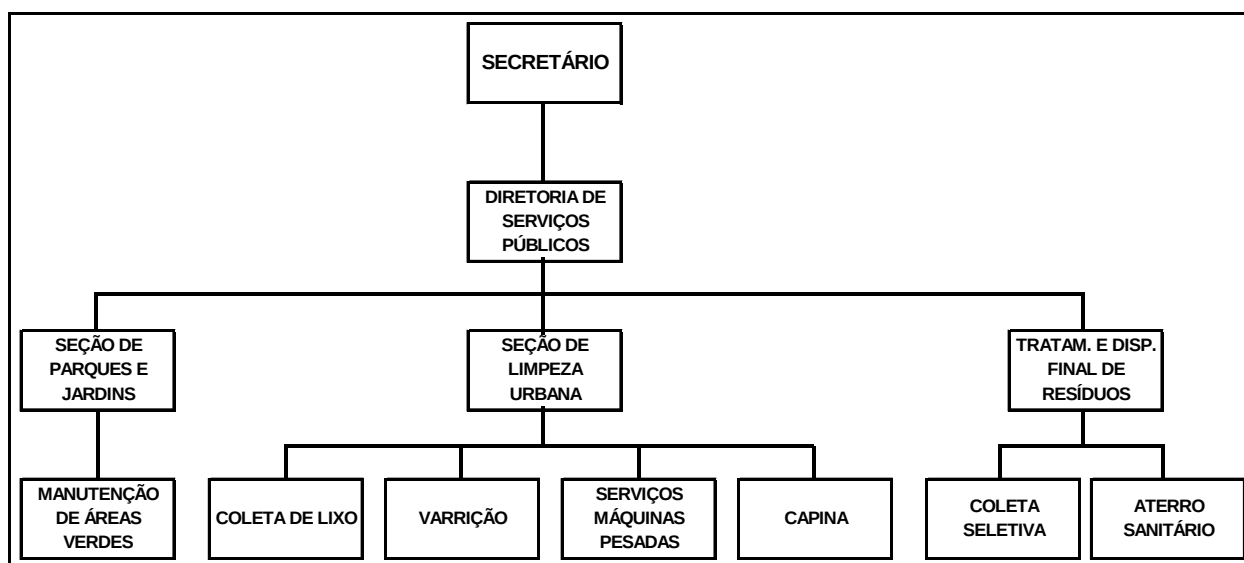


**Figura 8: Estrutura funcional do Departamento de Serviços Públicos**

**Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos de Ituiutaba.**

Em 2000, para a elaboração do projeto do Aterro Sanitário de Ituiutaba, foi realizada a primeira pesquisa da composição física dos resíduos sólidos urbanos. Observou-se que a composição dos resíduos é semelhante à média do país. A Tabela 7 apresenta o resultado dessa pesquisa.

**Tabela 7: Composição dos resíduos sólidos domiciliares, na cidade de Ituiutaba.**

| COMPOSIÇÃO | (%) |
|------------|-----|
| Orgânicos  | 63  |
| Papel      | 14  |
| Plástico   | 13  |
| Metal      | 3   |
| Vidro      | 1   |
| Outros     | 6   |
| Total      | 100 |

Fonte: Relatório de Controle Ambiental da Central de Tratamento e Destinação Final de Resíduos Sólidos de Ituiutaba (2000).

A implantação da Coleta Seletiva em Ituiutaba iniciou-se no ano 2001 com a criação de um conselho comunitário, composto por vários segmentos da sociedade organizada. Inicialmente operacionalizada por parcerias, a SAE implantou a Coleta Seletiva em um plano piloto na região leste da cidade, compreendendo 14 bairros. Na ocasião, os catadores que trabalhavam no lixão e que aderiram ao programa foram contratados, por meio de contratos administrativos, de duração restrita.

Foi estabelecida parceria com a Associação Ecológica Tijuco - ASETI. Esta entidade responsabilizou-se pela gestão dos recursos públicos aplicados no programa e realizou ações de mobilização da equipe de trabalho da Coleta Seletiva para a formação de uma cooperativa.

A Cooperativa de Reciclagem de Ituiutaba, COPERILCA, foi criada em novembro de 2003 e neste mesmo ano, foi iniciada a expansão da cobertura da coleta seletiva na cidade, atingindo 100% da área urbana em junho de 2004. Para isso, todas as casas da cidade foram visitadas por agentes de educação para a coleta seletiva da SAE. Os caminhões de coleta circulam por todas as ruas pavimentadas. Nos locais ainda sem asfalto, foram disponibilizados pontos de entrega voluntária.

A Coleta Seletiva opera com quatro caminhões de coleta tipo utilitário (Ford F-4000). As carrocerias dos veículos foram adaptadas para o transporte dos resíduos com a instalação

de grades, elevando as laterais. A guarnição é composta de um motorista e dois coletores, todos integrantes da cooperativa. Os caminhões da coleta seletiva são identificados com um sino e a equipe da COPERICLA trabalha uniformizada e utilizam todos os equipamentos de proteção necessários para garantir a segurança e a regularidade das operações.

A definição dos setores e do roteamento dos caminhões de coleta baseou-se nos setores da coleta de lixo domiciliar existentes, sem a utilização de técnicas científicas. Deve-se observar que a coleta de materiais recicláveis (coleta seletiva) e a coleta de lixo são operações totalmente distintas. Desta forma, foi estabelecido que a coleta seletiva fosse realizada em dias diferentes dos dias da coleta de lixo domiciliar.

## **4.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA**

Esta etapa teve como objetivo a identificação, de forma geral, da situação do manejo dos resíduos sólidos domiciliares na cidade de Ituiutaba. Para isso, foi necessário identificar a estrutura de gestão dos serviços relacionados ao manejo de resíduos sólidos na cidade e os tipos de serviços executados.

Para a caracterização dos serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares foi necessário realizar um amplo levantamento com apoio dos responsáveis pelos serviços e pelas equipes que realizam o trabalho. Buscou-se inicialmente verificar a documentação existente na Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos a respeito desta atividade. Não havia sequer uma planta da cidade adequada com a localização dos setores de coleta de lixo; foi disponibilizada pela Secretaria uma antiga planta da cidade com diversas rasuras e algumas anotações manuscritas sobre os setores de coleta e as divisões de equipes.

Assim, o primeiro trabalho consistiu em identificar minimamente a situação atual da coleta de lixo da cidade por meio de reuniões com cada equipe de trabalho, composta por um motorista e dois garis. Sobre um rascunho da planta da cidade foram localizados os setores de coleta, suas freqüências, equipe de trabalho e equipamentos disponíveis.

Além disso, foi realizado um levantamento de campo em cada rota com a coleta de informações, como horários de trabalho e quilometragens percorridas e percursos desenvolvidos pelos veículos coletores. Desta forma, o primeiro mapeamento da situação atual foi realizado e elaborou-se uma planta da cidade com os setores de coleta, apresentada na Figura 9.

A coleta de lixo em Ituiutaba apresenta características semelhantes a maioria das cidades Brasileiras. O serviço atende a 100% da população urbana. Contudo, os roteiros de coleta foram definidos e traçados manualmente com base na experiência da equipe de trabalho, assim como identificado pela pesquisa realizada por Deluqui (2003) como freqüente na maioria dos municípios Brasileiros.

A definição dos setores de coleta considerava, ao longo do tempo, fatores como a implantação de bairros, a quilometragem das vias em cada setor e a expansão da quantidade de vias pavimentadas. Em 2005, somavam-se 39 setores de coleta de resíduos com freqüências de coleta variadas, sendo diária na área central e alternada nos bairros.

Foi identificado que os roteiros realizados pelos caminhões de coleta não seguiam nenhum estudo de roteirização. Os roteiros eram definidos pelos próprios motoristas dos caminhões que executam os serviços há vários anos. As coletas em cada setor são realizadas em viagens únicas, por equipes compostas por um motorista e dois coletores.

Devido à ausência de estudos técnicos e de condução e fiscalização adequada dos serviços ao longo dos anos, as equipes de coleta de lixo passaram a adequar os serviços aos seus interesses pessoais. Por exemplo, o motorista, antes de iniciar a rota de coleta, busca os coletores em suas casas, gerando grandes deslocamentos improdutivos.

Outra situação que também contribui para a existência de percursos improdutivos atualmente são os deslocamentos do veículo de um setor de coleta para outro, dentro da mesma jornada de trabalho. Tal fato acontece da seguinte maneira: os setores de coleta são, em sua maioria, de pequena extensão; portanto, a coleta em um único setor não atinge a capacidade da caçamba compactadora. Assim, é realizada a coleta em um determinado setor “A” na área central da cidade, que é diária, e, em seguida, passa-se à coleta do setor

“B”, nas segundas, terças e quartas-feiras, ou à coleta do setor “C”, nas terças, quintas-feiras e sábados, ou vice-versa.

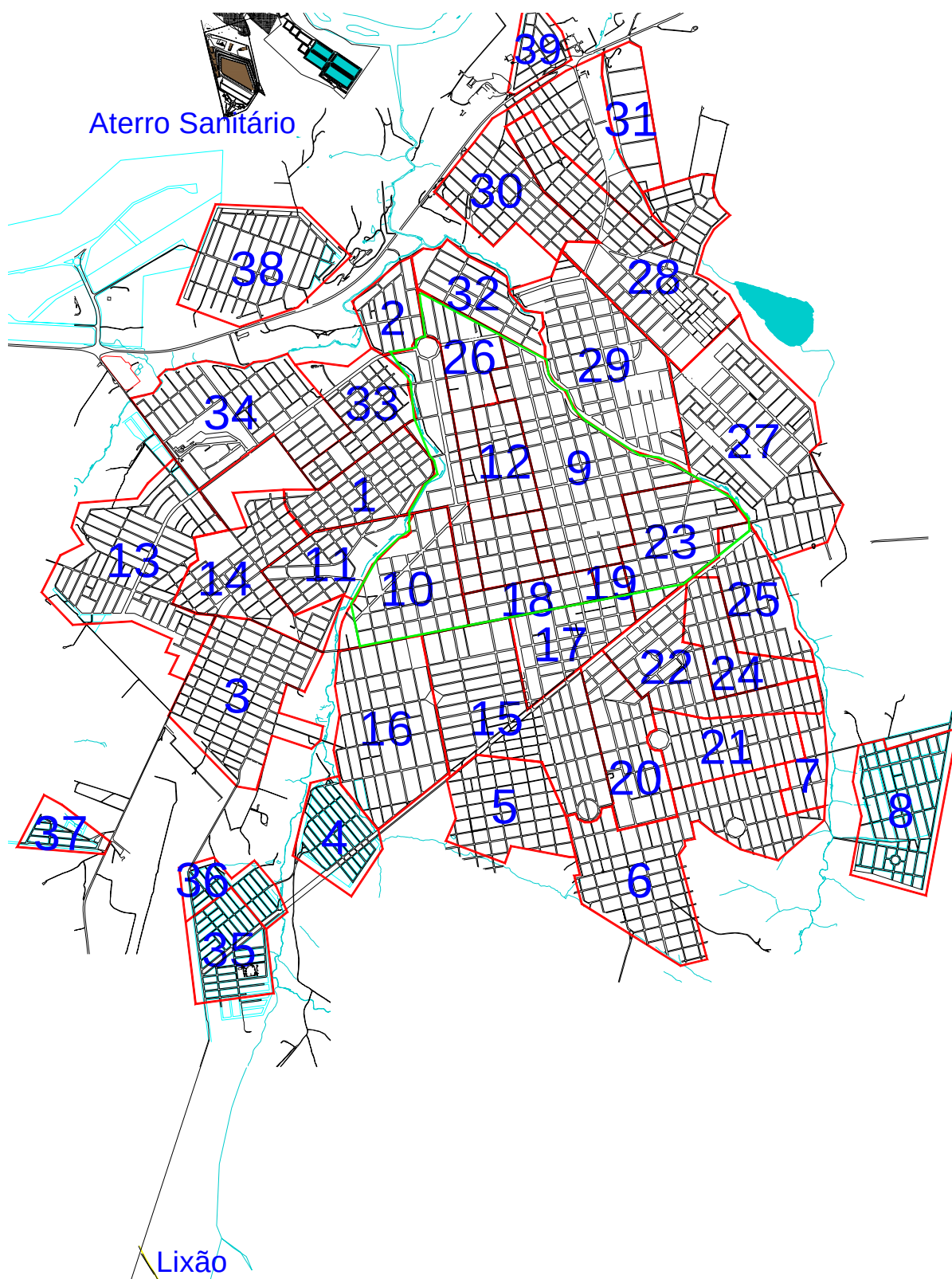


**Figura 9: Setores de coleta de lixo, cenário atual – Ituiutaba (MG).**  
Obs.: Em destaque, a área central da cidade.

A frota de caminhões coletores, composta por seis caminhões com compactadores e um caminhão com caçamba, com vida útil média de 19,1 anos, demanda manutenções corretivas freqüentes, nem sempre atendidas em tempo hábil pela reduzida equipe e condições da oficina da Prefeitura. A Tabela 8 apresenta as características dos veículos utilizados na coleta dos resíduos sólidos domiciliares.

**Tabela 8: Caracterização dos veículos utilizados para a coleta de lixo domiciliar.**

| Item | Modelo                                             | Ano de Fabricação | Identificação (nº) | Capacidade (m³) | Utilização                                             |
|------|----------------------------------------------------|-------------------|--------------------|-----------------|--------------------------------------------------------|
| 1    | Caminhão Mercedes-Benz com equipamento compactador | 1978              | 05                 | 10              | Coleta de resíduos domiciliares                        |
| 2    | Caminhão Mercedes-Benz com equipamento compactador | 1978              | 09                 | 10              | Coleta de resíduos domiciliares                        |
| 3    | Caminhão Mercedes-Benz com equipamento compactador | 1978              | 12                 | 10              | Coleta de resíduos domiciliares                        |
| 4    | Caminhão Mercedes-Benz com equipamento compactador | 1990              | 59                 | 12              | Coleta de resíduos domiciliares                        |
| 5    | Caminhão Mercedes-Benz com equipamento compactador | 1990              | 60                 | 12              | Coleta de resíduos domiciliares                        |
| 6    | Caminhão Mercedes-Benz com equipamento compactador | 2001              | 99                 | 16              | Coleta de resíduos domiciliares                        |
| 7    | Caminhão Ford com caçamba                          | 1986              | 44                 | 12              | Coleta de resíduos domiciliares e de serviços de saúde |

Fonte: Departamento de Serviços Públicos

Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos.

Observa-se que um veículo que coleta os resíduos domiciliares também realiza a coleta de resíduos de serviços de saúde (caminhão Ford com caçamba). Este fato contraria as recomendações técnicas, visto que os resíduos de serviços de saúde devem ser coletados em veículos exclusivos e especialmente adaptados.

Observa-se ainda que, o fato de haver um grande número de setores de coleta sem nenhum estudo técnico apropriado faz com que todos os veículos disponíveis sejam utilizados, ou seja, não há veículo de reserva. Quando da necessidade de paradas para manutenção corretiva, faz-se necessário substituir o veículo coletor por algum outro veículo com

caçamba, sendo necessário a reorganização dos setores em período de tempo para a normalização da frota.

No primeiro estudo, foram identificados alguns problemas iniciais dos serviços de coleta de lixo, como as dificuldades de manutenção da frota e de circulação em vias não pavimentadas, falta de equipamentos adequados, entre outros.

O grande número de setores da coleta de lixo, bem como a situação dos equipamentos disponíveis (idade da frota, condições de manutenção) e a forma de trabalho estabelecida, têm interferido diretamente na qualidade do serviço prestado à população. Os custos operacionais e de manutenção são elevados e são constantes as reclamações da população pela falta da regularidade na prestação dos serviços: não há como garantir à população o cumprimento do horário aproximado para a coleta do resíduo nos setores.

Em relação à disposição final, no início do ano de 2005, os resíduos ainda eram lançados a céu aberto no lixão, onde se verificava uma disputa entre catadores e animais pelo lixo ali exposto sem nenhum cuidado especial de proteção ao meio ambiente. Este lixo, após receber a “cata” era coberto com solo.

Diante desse quadro, em 1999, a Prefeitura Municipal e a Superintendência de Água e Esgotos de Ituiutaba (SAE) iniciaram a busca de soluções para resolver esse problema por meio de projetos para a construção de um aterro sanitário e a implantação de coleta seletiva de materiais recicláveis. Em 2001, o Governo de Minas Gerais lançou a Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental, COPAM, número 52, que convocou os municípios mineiros para criarem soluções adequadas de disposição final de lixo. Contudo, havia ainda as dificuldades financeiras para a implantação desses projetos.

Assim, a SAE e a Prefeitura Municipal elaboraram um programa de gestão integrada dos resíduos sólidos para a cidade de Ituiutaba, denominado Programa Municipal Ituiutaba Recicla, que, além de contemplar o aterro sanitário, a coleta seletiva e a limpeza urbana, envolve também a Educação Ambiental, a partir das escolas, a Produção Mais Limpa, a partir da indústria e do comércio, e a Inclusão Social das pessoas que ainda vivem no lixão e dos excluídos pela sociedade. Com este Programa, Ituiutaba submeteu o projeto ao

Ministério do Meio Ambiente, conforme edital do Fundo Nacional do Meio Ambiente número 01 em 2001 e venceu em primeiro lugar no país, concorrendo com outros 220 municípios, recebendo assim parte da verba necessária para a construção do aterro sanitário.

O aterro sanitário de Ituiutaba, denominado de Central de Tratamento e Destinação Final de Resíduos Sólidos de Ituiutaba (CTDFRS) recebeu a Licença de Operação emitida pela Fundação Estadual do Meio Ambiente em dezembro de 2004. Entretanto, sua operação foi iniciada em dezembro de 2005 após a aquisição de equipamentos para o manejo dos resíduos e a contratação de empresa especializada para a execução dos serviços. O empreendimento localiza-se em área diferente do antigo lixão e, portanto, o novo estudo das rotas de coleta de lixo deve contemplar esta nova situação.

Para o estudo proposto, escolheu-se a área central da cidade em que a coleta de lixo ocorre diariamente (de segunda-feira à sábado, inclusive em feriados). Esta área engloba tanto áreas comerciais, onde se concentram empresas de diversos setores, como lojas de departamentos, supermercados e de serviços, quanto áreas residenciais. Os setores de coleta de lixo da área central são identificados com os números 02, 09, 10, 12, 18+19, 23 e 26, conforme Figura 9.

Para a melhor caracterização dos serviços de coleta de lixo da área de estudo proposta, a coleta manual de informações mostrava-se insuficiente e pouco precisa. Em função disso, a coleta de lixo da área central da cidade foi mapeada utilizando receptores do sistema GPS. Esta coleta de dados consistiu em percorrer cada rota de coleta de lixo com o receptor GPS no caminhão e, em seguida, transferiu-se esses dados coletados para o computador por meio do *software* GPS TrackMaker ao final da jornada de trabalho de cada setor.

Para este trabalho foram utilizados os seguintes recursos:

- Equipamento receptor do sistema GPS;
- Programa de comunicação para GPS e tratamento de dados: *Software* GPS TrackMaker, para *Windows*, versão 12.3;

- Programa para o desenho das rotas de coleta de lixo sobre a planta da cidade: *Software* AutoCAD 2000, para Windows;

O receptor do sistema GPS foi configurado com os seguintes parâmetros:

- Unidade de comprimento: metros;
  - o Sistema de coordenadas: grade retangular – UTM (Universal Transversa de Mercator);
    - Datum: América do Sul 69.

Dentre outras aplicações, o programa GPS TrackMaker permite criar, editar e apagar *Tracklogs*, rotas e *waypoints* facilmente, possui banco de dados com mais de 280 diferentes referências de *datum*, os dados podem ser armazenados em diversos formatos, calcula comprimentos cartográficos, velocidades instantâneas e médias nas *Tracklogs*, possui função de *Zoom in* e *Zoom out*, mostra na tela o nome ou um comentário do *waypoint* em caixa de texto, permite a navegação total sobre a imagem digitalizada do mapa e possibilita inserir várias imagens de mapa ou fotos no fundo da tela.

O mapeamento de cada rota foi realizado transportando o receptor de GPS nos caminhões de coleta, sendo utilizada a seguinte função do receptor:

- Função: Opção de Mapa;
  - o Opção: Método Rotas;
    - Coleta de pontos: a cada 15 ou 20 segundos, dependendo do tamanho do percurso.

Desta maneira, foi possível obter as rotas e, por consequência, a definição exata de cada setor de coleta da área em estudo.

A Figura 10 mostra a tela do programa GPS TrackMaker após a transferência dos dados do receptor GPS e com tratamento em cores e nomenclatura das rotas do Setor de Coleta nº 09.

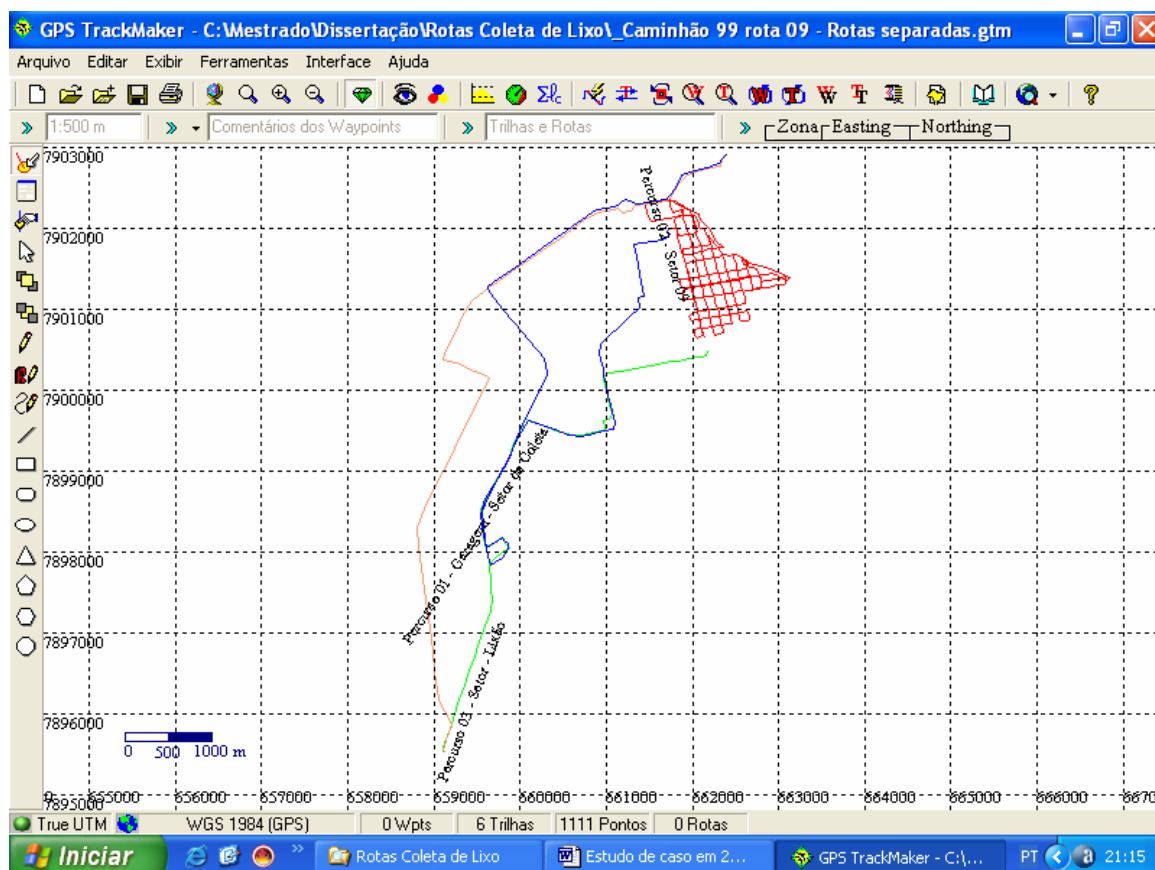


**Figura 10: Setor de Coleta nº 09/GPS TrackMaker, cenário atual.**

Obs.: Vermelho – setor de coleta;  
 Azul – garagem até o setor de coleta;  
 Verde – setor de coleta à área de disposição final (lixão);  
 Marrom – lixão à garagem;

A Figura 11 apresenta a tela do mesmo programa após o mapeamento de todas as rotas e setores de coleta de lixo da área em estudo.

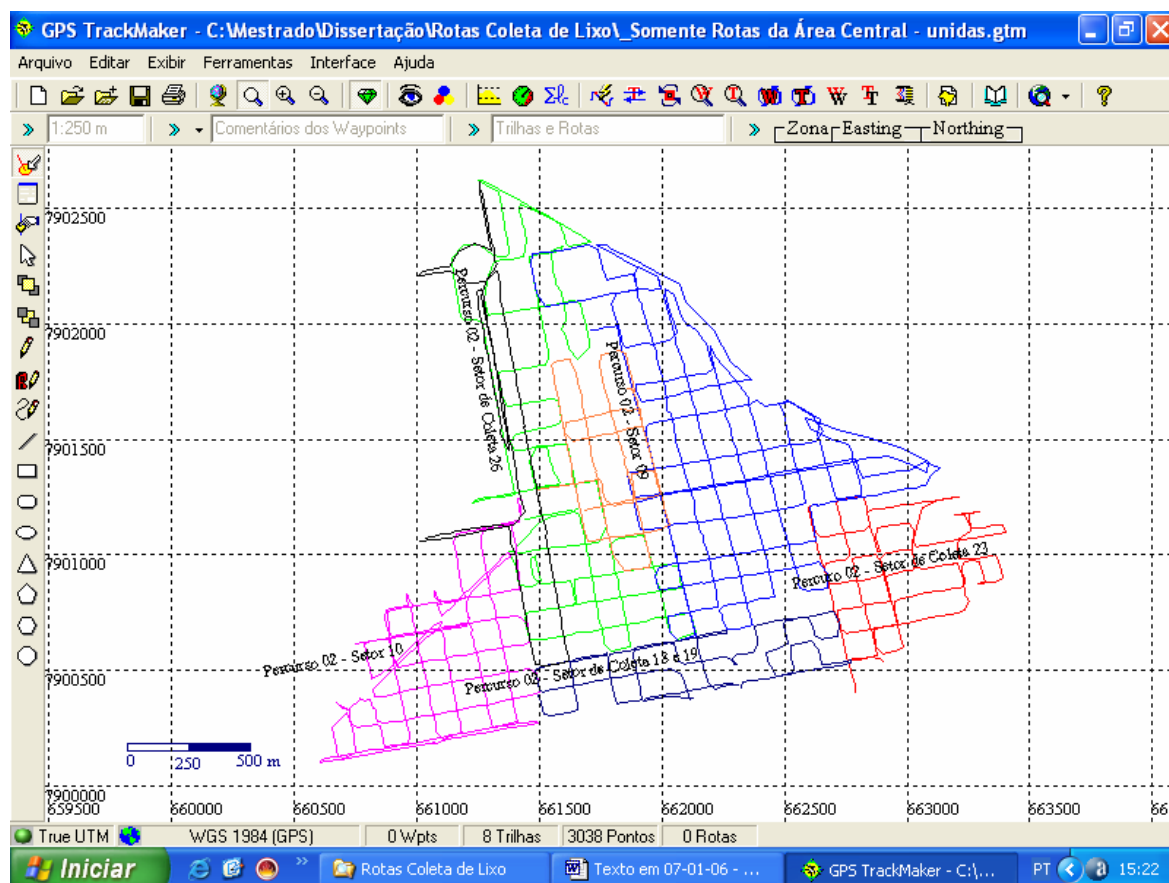


**Figura 11: Setores de coleta da área central/GPS TrackMaker, cenário atual.**

Obs.: Preto – setor de coleta nº 02  
 Azul – setor de coleta nº 09  
 Rosa – setor de coleta nº 10  
 Laranja – setor de coleta nº 12  
 Azul escuro – setor de coleta nº 18+19  
 Vermelho – setor de coleta nº 23  
 Verde – setor de coleta nº 26

O mapeamento das rotas com a utilização do receptor GPS ocorreu apenas uma vez em cada rota, visto que a coleta é diária na área do estudo. Para certificar que os deslocamentos não variassem em situações normais, foram escolhidos os dias de coleta de dados com o GPS quando o motorista era o “titular” dos serviços, evitando-se percorrer os trechos quando havia motoristas substitutos executando o serviço.

Além disso, os motoristas percorrem sempre o mesmo percurso na área central da cidade em qualquer dia da semana, independentemente de qualquer variação na quantidade de lixo nos dias da semana, pois, de acordo com a configuração atual dos setores de coleta de

Ituiutaba, os veículos dificilmente têm que fazer mais de uma viagem para completar a coleta do setor.

A variação do volume de resíduos coletados ao longo dos dias da semana, bem como as condições de tráfego em algumas vias de maior movimento, não interferem no percurso desenvolvido pelos veículos coletores de resíduos. Quando o volume de resíduos é maior e/ou quando há maior fluxo de veículos em determinadas vias, o único parâmetro operacional que irá variar será o tempo para a realização dos serviços. Entretanto, para a situação da cidade de Ituiutaba, com boas condições de circulação nas vias, consideram-se tais variações irrelevantes para este estudo.

Ainda assim, foram tomados cuidados para que não houvesse perdas de sinal em algumas áreas, como por exemplo, em trechos de ruas com muitas árvores.

Após o mapeamento das rotas e dos setores de coleta por meio do receptor GPS, os dados foram tratados no programa GPS TrackMaker para análises e obtenção dos indicadores dos percursos que o caminhão de coleta de lixo realizou durante a jornada de trabalho.

Os indicadores obtidos foram as quilometragens percorridas e os tempos nos percursos garagem/setor de coleta, setor de coleta, setor de coleta/disposição final no lixão e disposição final no lixão/garagem. Foram obtidos dados de velocidades (mínima, máxima e média), além do tempo e quilometragem total.

No cenário atual, os veículos coletam na área central e complementam a coleta em outro bairro, ou vice-versa, situação dos setores de coleta 02, 12, 18+19, 23 e 26. Nestes casos, foram coletadas as informações somente da área de estudo. Quando há esta situação, identificaram-se os percursos e tempos totais como “parciais”.

Após a obtenção dos indicadores de cada setor utilizando os dados do receptor GPS e do *software* TrackMaker, as rotas foram exportadas para a planta georreferenciada da cidade para o programa AutoCAD. Esta transferência exigiu ajustes de escala, realizados por tentativa.

A seguir, são apresentados os setores 02, 09, 10, 12, 18+19, 23 e 26 de coleta de lixo da área central, com as indicações dos sentidos de deslocamentos dos veículos coletores levantamento feito com GPS.

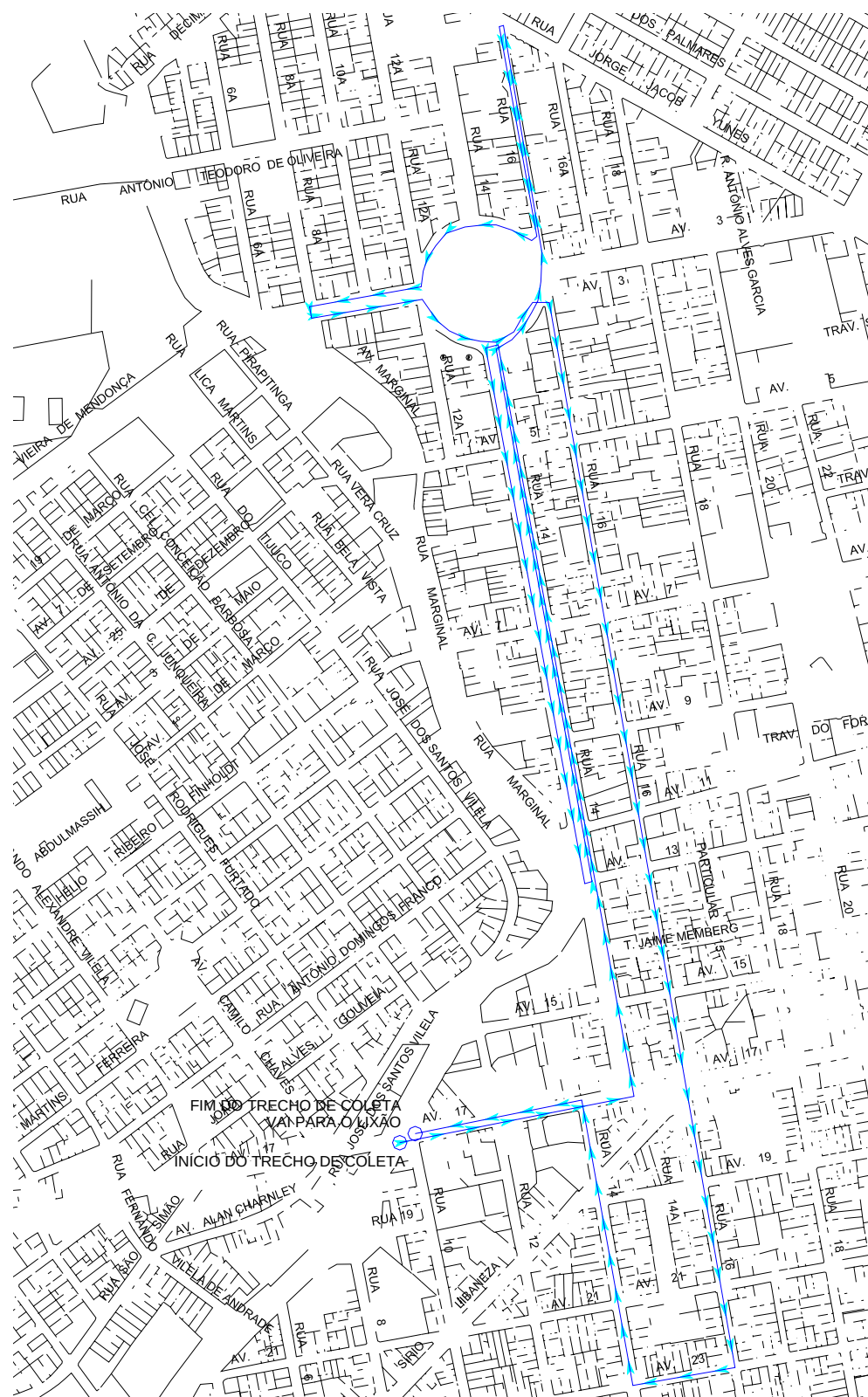


Figura 12: Setor de coleta 02.



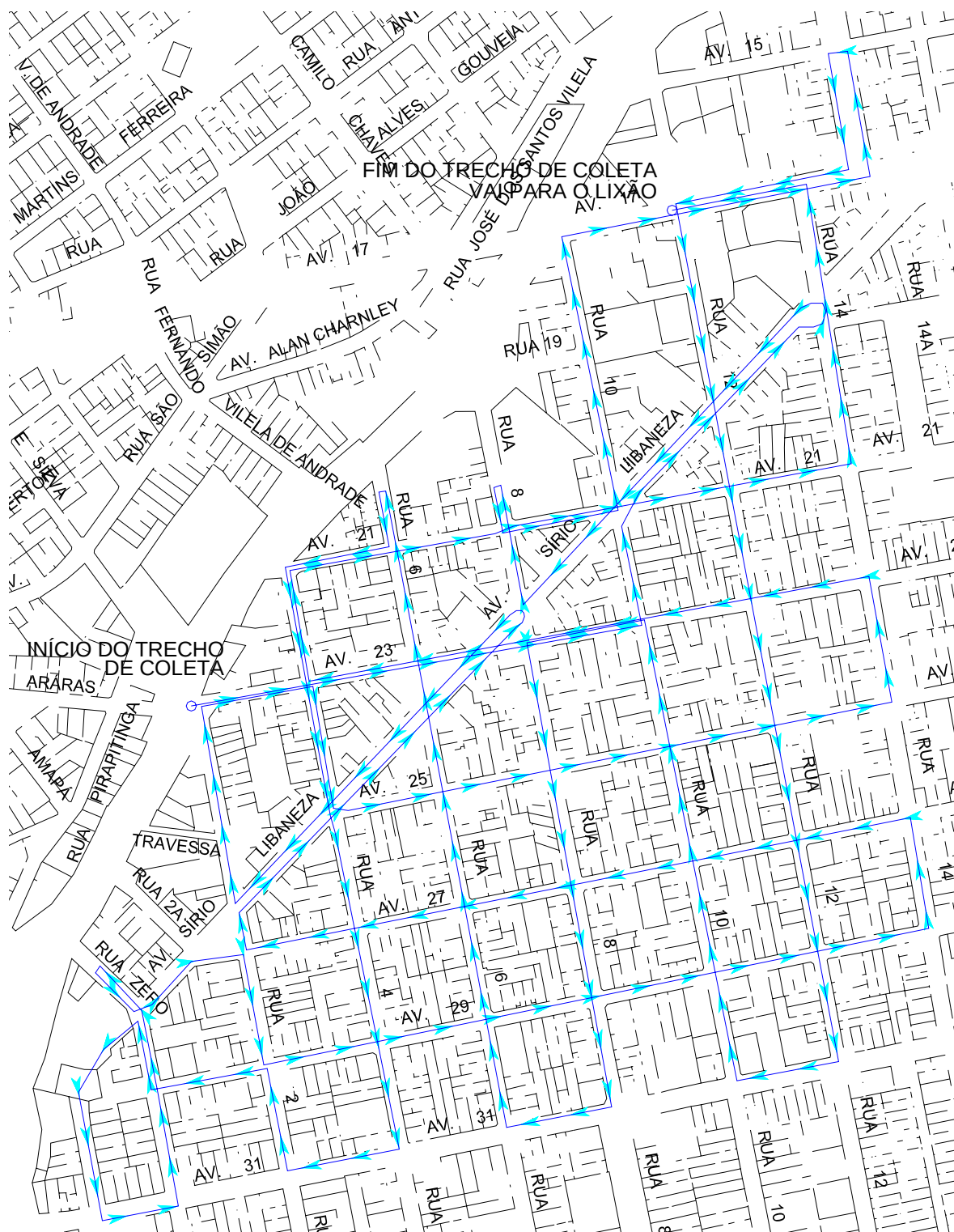


Figura 14: Setor de coleta 10.









O mapeamento da situação atual das rotas de coleta de lixo da área em estudo por meio de receptores GPS permitiu obter os indicadores distâncias percorridas e os tempos nos percursos garagem/setor de coleta, setor de coleta, setor de coleta/disposição final no lixão e disposição final no lixão/garagem. Foram extraídos também dados de velocidades de deslocamento (mínima, máxima e média), além de tempo total e quilometragem total.

Conforme detalhado anteriormente, foram obtidos somente os dados de deslocamento dos veículos coletores quando realizavam a coleta na área do estudo. As Tabelas 9, 10 e 11 a seguir descrevem os indicadores obtidos com o mapeamento das rotas de coleta de lixo da área em estudo, por meio de receptores GPS.

**Tabela 09: Indicadores do mapeamento dos setores de coleta 02 e 09 da área central.**

| Setor de Coleta nº 02 |      |                     |       | Caminhão nº 09                  |                                   |
|-----------------------|------|---------------------|-------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Indicador             | Un   | Garagem até o Setor | Setor | Setor até o local de disposição | Local de disposição até a garagem |
| Percurso              | m    | -                   | 7.263 | 8.937                           | 9.702                             |
| Tempo                 | h    | -                   | 1,35  | 0,55                            | 0,42                              |
| Veloc mínima          | km/h | -                   | 0,2   | 0,1                             | 0,1                               |
| Veloc média           | km/h | -                   | 5,4   | 16,1                            | 23,2                              |
| Veloc máxima          | km/h | -                   | 34,8  | 40,6                            | 48,6                              |

Percurso total: 25.902 m (parcial)  
 Tempo total: 2,32 h (parcial)

Coleta realizada em 16/08/2005

---

| Setor de Coleta nº 09 |      |                     |        | Caminhão nº 99                  |                                   |
|-----------------------|------|---------------------|--------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Indicador             | Un   | Garagem até o Setor | Setor  | Setor até o local de disposição | Local de disposição até a garagem |
| Percurso              | m    | 13.720              | 23.155 | 7.809                           | 9.953                             |
| Tempo                 | h    | 0,47                | 3,63   | 0,32                            | 0,33                              |
| Veloc mínima          | km/h | 0,1                 | 0,1    | 0,1                             | 0,1                               |
| Veloc média           | km/h | 28,7                | 6,4    | 24,3                            | 29,5                              |
| Veloc máxima          | km/h | 68,9                | 40,9   | 45,3                            | 63,0                              |

Percurso total: 54.637 m  
 Tempo total: 4,75 h

Coleta realizada em 16/08/2005

**Tabela 10: Indicadores do mapeamento dos setores de coleta 10, 12 e 18+19 da área central.**

| Setor de Coleta nº 10 |      |                     |        | Caminhão nº 99                  |                                   |
|-----------------------|------|---------------------|--------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Indicador             | Un   | Garagem até o Setor | Setor  | Setor até o local de disposição | Local de disposição até a garagem |
| Percurso              | m    | 11.231              | 13.961 | 8.603                           | 13.860                            |
| Tempo                 | h    | 0,60                | 2,03   | 0,38                            | 0,48                              |
| Veloc mínima          | km/h | 0,1                 | 0,1    | 0,3                             | 0,4                               |
| Veloc média           | km/h | 18,6                | 6,8    | 22,0                            | 29,1                              |
| Veloc máxima          | km/h | 51,5                | 32,6   | 44,2                            | 56,9                              |
| Percurso total:       |      | 47.655 m            |        |                                 |                                   |
| Tempo total:          |      | 3,50 h              |        | Coleta realizada em 17/08/2005  |                                   |

| Setor de Coleta nº 12 |      |                     |           | Caminhão nº 99                  |                                   |
|-----------------------|------|---------------------|-----------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Indicador             | Un   | Garagem até o Setor | Setor     | Setor até o local de disposição | Local de disposição até a garagem |
| Percurso              | m    | -                   | 6.191     | 7.314                           | 9.315                             |
| Tempo                 | h    | -                   | 1,23      | 0,23                            | 0,30                              |
| Veloc mínima          | km/h | -                   | 0,1       | 0,1                             | 0,3                               |
| Veloc média           | km/h | -                   | 5,0       | 31,8                            | 31,1                              |
| Veloc máxima          | km/h | -                   | 23,5      | 51,4                            | 62,3                              |
| Percurso total:       |      | 22.820 m            | (parcial) |                                 |                                   |
| Tempo total:          |      | 1,77 h              | (parcial) | Coleta realizada em 17/08/2005  |                                   |

| Setor de Coleta nº 18+19 |      |                     |           | Caminhão nº 59                  |                                   |
|--------------------------|------|---------------------|-----------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Indicador                | Un   | Garagem até o Setor | Setor     | Setor até o local de disposição | Local de disposição até a garagem |
| Percurso                 | m    | -                   | 6.743     | 7.123                           | 9.681                             |
| Tempo                    | h    | -                   | 1,15      | 0,25                            | 0,28                              |
| Veloc mínima             | km/h | -                   | 0,1       | 0,1                             | 0,1                               |
| Veloc média              | km/h | -                   | 5,8       | 28,8                            | 33,7                              |
| Veloc máxima             | km/h | -                   | 26,1      | 56,0                            | 71,7                              |
| Percurso total:          |      | 23.547 m            | (parcial) |                                 |                                   |
| Tempo total:             |      | 1,68 h              | (parcial) | Coleta realizada em 20/10/2005  |                                   |

**Tabela 11: Indicadores do mapeamento dos setores de coleta 23 e 26 da área central.**

| Setor de Coleta nº 23 |      |                     |       | Caminhão nº 12                  |                                   |
|-----------------------|------|---------------------|-------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Indicador             | Un   | Garagem até o Setor | Setor | Setor até o local de disposição | Local de disposição até a garagem |
| Percurso              | m    | -                   | 8.816 | 8.314                           | 10.948                            |
| Tempo                 | h    | -                   | 1,48  | 0,40                            | 0,45                              |
| Veloc mínima          | km/h | -                   | 0,1   | 0,1                             | 0,1                               |
| Veloc média           | km/h | -                   | 5,9   | 20,8                            | 24,4                              |
| Veloc máxima          | km/h | -                   | 22,4  | 50,1                            | 52,9                              |

Percurso total: 28.078 m (parcial)

Tempo total: 2,33 h (parcial)

Coleta realizada em 18/08/2005

| Setor de Coleta nº 26 |      |                     |        | Caminhão nº 59                  |                                   |
|-----------------------|------|---------------------|--------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Indicador             | Un   | Garagem até o Setor | Setor  | Setor até o local de disposição | Local de disposição até a garagem |
| Percurso              | m    | 8.666               | 13.736 | -                               | -                                 |
| Tempo                 | h    | 0,33                | 2,08   | -                               | -                                 |
| Veloc mínima          | km/h | 0,1                 | 0,1    | -                               | -                                 |
| Veloc média           | km/h | 25,7                | 6,6    | -                               | -                                 |
| Veloc máxima          | km/h | 56,5                | 50,5   | -                               | -                                 |

Percurso total: 22.402 m (parcial)

Tempo total: 2,43 h (parcial)

Coleta realizada em 12/08/2005

A Tabela 12 apresenta como resumo o somatório dos deslocamentos e tempos de percursos da situação atual. Como em cinco dos sete setores de coleta da área central o caminhão realiza os serviços ora em um bairro e depois o centro, ora no centro em seguida em um bairro, optou-se por, quando da falta destes valores em função desta peculiaridade, considerar a média de deslocamentos e tempos de percursos.

Para o levantamento das repetições de percursos sobre trechos já servidos, utilizou-se a planta dos setores de coleta de lixo e itinerários dos veículos da situação atual desenhada no AutoCAD.

Outro importante indicador que deve ser destacado é a mão-de-obra empregada na realização dos serviços. Na situação atual, são necessários 01 motorista e 02 garis para

executar os serviços em cada setor de coleta. Para coletar o lixo na área central de Ituiutaba atualmente, são necessários, portanto:

- 07 motoristas;
- 14 garis.

A Tabela 13 apresenta os dados do custo de mão-de-obra despendido pela Prefeitura Municipal para a coleta de lixo na área central da cidade.

**Tabela 12: Parâmetros totais operacionais da área em estudo.**

| <b>Distâncias percorridas (m)</b>    | <b>Distâncias percorridas (m)</b> | <b>Tempos de percursos (h)</b> |
|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Garagem/Setor                        | 78.440                            | 3,27                           |
| Setor de Coleta                      | 79.865                            | 12,95                          |
| Setor/Lixão                          | 56.117                            | 2,49                           |
| Lixão/Garagem                        | 74.036                            | 2,64                           |
| Total                                | 288.458                           | 21,35                          |
| Repetições sobre trechos já servidos | 29.403                            |                                |

**Tabela 13: Custo da mão-de-obra – equipe da coleta de lixo, na situação atual.**

|                            | <b>Categoria</b>       | <b>Salário base*<br/>(R\$)</b> | <b>Quantidade</b> | <b>Custo total em<br/>salários (R\$)</b> |
|----------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------|------------------------------------------|
| 1                          | Motorista              | 490,00                         | 7                 | 44.590,00                                |
| 2                          | Gari – coletor de lixo | 490,00                         | 14                | 89.180,00                                |
| <b>Total / anual (R\$)</b> |                        |                                |                   | <b>133.770,00</b>                        |

(\*) incluindo adicional de insalubridade.

Fonte: Departamento de Recursos Humanos  
Secretaria Municipal de Fazenda, Administração e Recursos Humanos de Ituiutaba.

Após esta etapa de caracterização do problema e da área de estudo, foi aplicado o *software* TransCAD para a elaboração de um novo cenário para a coleta de lixo nesse setor da cidade.

### 4.3 APLICAÇÃO DO SOFTWARE TRANSCAD NA ÁREA DE ESTUDO DE COLETA DE RSD

Para a elaboração do novo cenário para a coleta de RSD na área de estudo, foi utilizado o *software* TransCAD, versão 4.5 *Academic License*, pela sua flexibilidade e recursos operacionais e custo acessível. Para Cairns (1998) *apud* Lacerda (2003), 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, como rotinas específicas para a solução de problemas de logística, pesquisa operacional e de transporte em geral. De acordo com Deluqui (2002), estas rotinas permitem aos usuários aplicar não só funções básicas de análise de rede como também resolver problemas convencionais de roteamento.

Para a utilização desse *software* é necessário o arquivo digital do sistema viário da cidade, que foi obtido por meio de planta da cidade, em escala 1:10.000, em AutoCAD 2000, cedida pela Superintendência de Água e Esgotos de Ituiutaba. Este arquivo foi salvo na versão R13 do AutoCAD em formato .dxf e importado no TransCAD.

Em seguida, foi traçada a malha viária da área em estudo, que incluiu também os traçados das principais vias de ligação entre a Garagem dos veículos coletores e a área objeto do estudo e desta área com o novo local de disposição final dos resíduos, o Aterro Sanitário. A Figura 19 apresenta a imagem da malha viária traçada no TransCAD.

Em seguida, foram realizadas as seguintes etapas:

- a) Nomeação das vias: foram inseridos os nomes de todas as vias da área do estudo e das principais ligações entre esta área e a Garagem e o Aterro Sanitário para facilitar a sua identificação no mapa o lançamento dos demais atributos de cada via;
- b) Identificação das vias que seriam servidas pelo serviço de coleta de lixo: todas as vias da área do estudo foram configuradas para serem servidas pela coleta de lixo. As vias de ligação entre a Garagem a área central e entre esta área e o Aterro Sanitário foram identificadas como não atendidas pelo serviço de coleta;

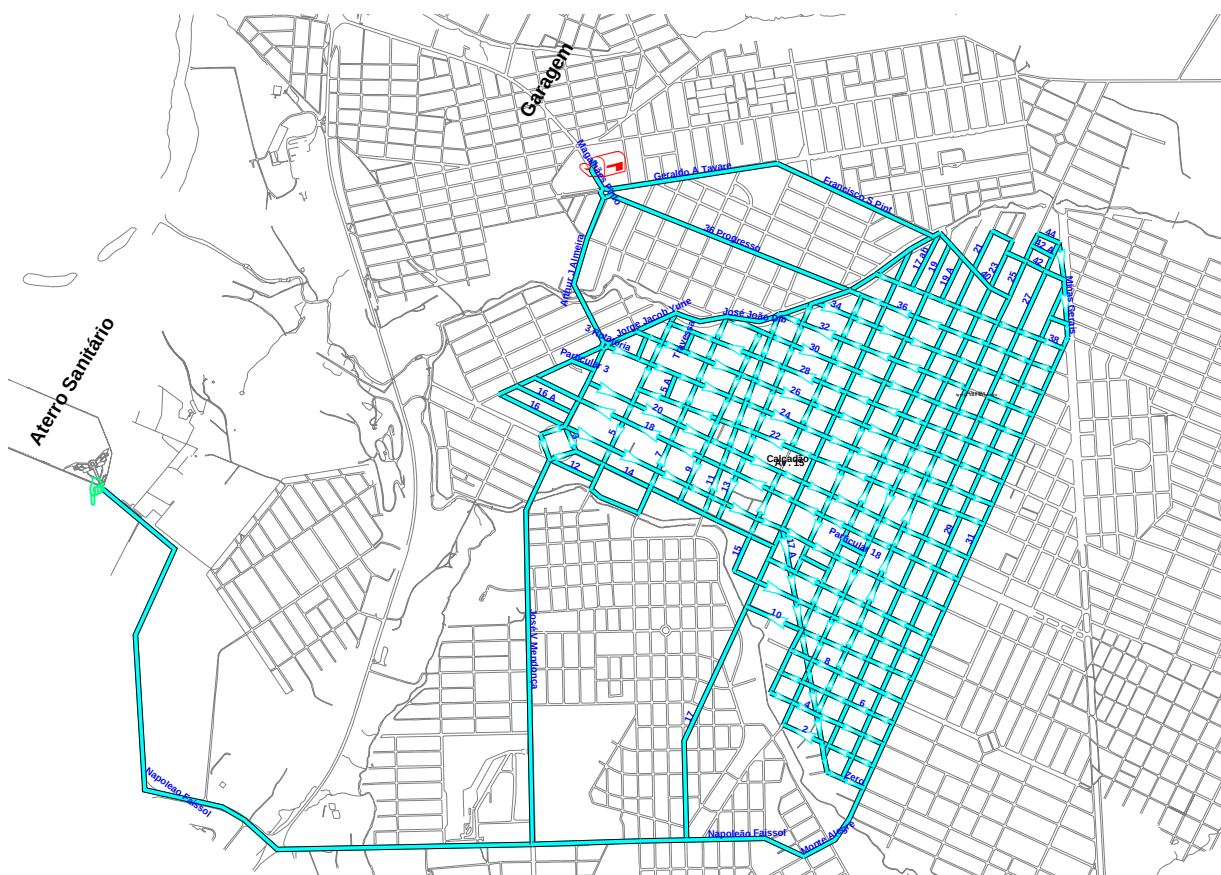


**Figura 19: Malha viária da área do estudo e suas ligações principais com a Garagem e o Aterro Sanitário.**

- c) Localização da Garagem e do Aterro Sanitário: no arquivo geográfico de nós, foram identificados a Garagem e o Aterro Sanitário por meio de seleção destes pontos.
- d) Informações sobre o veículo coletor: selecionou-se, entre os veículos disponíveis pela Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos aquele de maior capacidade e que também é o mais novo. Como se pretendia analisar os tempos de percurso do veículo, utilizaram-se as informações sobre a velocidade dos veículos durante os serviços de coleta obtidas pelo mapeamento com GPS e as velocidades máximas sinalizadas nas vias urbanas da cidade de Ituiutaba onde o caminhão poderia percorrer.
- e) Os demais campos foram preenchidos conforme o padrão para identificação da Garagem, do Aterro Sanitário e demais parâmetros para a otimização.

As Tabelas 14 e 15 apresentam a configuração da base de dados dos arquivos geográficos de pontos e de linhas. O campo marcado com um asterisco na Tabela 10 é representado na base de dados por um par de arquivos, indicando dados relevantes em duas direções ao longo de cada arco, denominados bidirecionais.

**Tabela 14: Campos preenchidos na base de dados do arquivo geográfico de pontos.**

| Campo | Tipo       | Função                                                    |
|-------|------------|-----------------------------------------------------------|
| ID    | Inteiro    | Registro que identifica a camada de pontos                |
| Nome  | Caracteres | Utilizado para identificar a Garagem e o Aterro Sanitário |

Fonte: Caliper (2002).

**Tabela 15: Campos preenchidos na base de dados do arquivo geográfico de linhas.**

| Campo             | Tipo       | Função                                                                                                              |
|-------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ID                | Inteiro    | Registro que identifica a camada de linhas                                                                          |
| Dir               | Inteiro    | Registro que indica o sentido de fluxo do arco                                                                      |
| Nome              | Caracteres | Utilizado para identificar a rua no relatório de itinerário.                                                        |
| Service Flag*     | Inteiro    | Registro que identifica o arco no qual o serviço de coleta é requerido e o setor de coleta ao qual o arco pertence. |
| Service Type      | Inteiro    | Indica a quantidades de passadas em cada arco para realizar a coleta.                                               |
| Service Time      | Real       | Tempo, em horas, para o veículo atravessar o arco, quando realiza a coleta.                                         |
| Deadhead Time     | Real       | Tempo, em horas, para o veículo atravessar o arco, quando não realiza a coleta.                                     |
| Deadhead Workload | Real       | Quantidade máxima de resíduos a ser coletado, em função da capacidade do veículo.                                   |
| Service Load      | Real       | Quantidade de resíduo a ser coletado em cada arco.                                                                  |

Fonte: Caliper (2002).

A seguir, são apresentadas as configurações de cada campo da base de dados do arquivo geográfico de linhas:

- Dir: indica a direção do fluxo em cada arco
  - = 1, indica que o sentido do fluxo coincide com a direção topológica do arco (sentido em que o arco foi desenhado);
  - = -1, indica que o sentido de fluxo é contrário à direção topológica do arco;
  - - 0, indica que a via é de mão dupla.
- Service Flag AB/BA: Sentido em que a via deve ser atravessada para o atendimento;
  - = 1 quando a via da rede deve ser atendida;
  - = 0 quando a via da rede não deve ser atendida;

Obs.: Nas ruas de mão única que serão atendidas: = 1 o Service Flag AB ou BA. Nas ruas de mão dupla sem canteiro central: = 1 somente o Service Flag AB;
- Service Type:
  - = 1 indica que ambos os lados da rua (arco) podem ser servidos em uma única passagem do caminhão;
  - = 2 indica que a rua ou avenida (arcos) deve ser servida em cada direção separadamente.
- AB/BA District:
  - Numerar cada arco para cada distrito a que pertence;
  - Por exemplo, se tiver somente um distrito é igual a 1;
  - Se tiver dois distritos é igual 1 para o distrito 1, igual a 2 para o distrito 2, e assim por diante;
- Service Time:
  - O Service Time foi configurado como o custo de deslocamento nos *arcos* quando está prestando o serviço (nos *arcos*); este custo foi configurado como o tempo de deslocamento em função da velocidade de deslocamento;

- Velocidade no arco durante a coleta: 6 km/h (valor médio praticado atualmente pela equipe de coleta de lixo, obtido a partir do mapeamento da situação atual com GPS);
- $Tempo = \frac{Percorso}{Velocidade} \rightarrow ServiceTime = \frac{Length}{6000}$
- Onde:
  - *Service Time* = tempo, em horas;
  - Velocidade = 6 km/h ou 6.000 m/h;
  - Percorso = Comprimento do Arco (Length), em metros.
- Deadhead Time:
  - O Deadhead Time foi configurado como o custo de deslocamento nos arcos quando não estiver prestando o serviço; este custo foi configurado com base no tempo e velocidade de deslocamento;
  - Velocidade no arco quando não está realizando a coleta: 40 km/h (velocidade máxima indicada nos trechos, sem distinção se é via de mão única, mão dupla ou de duas faixas de rolamento);
  - $Tempo = \frac{Percorso}{Velocidade} \rightarrow DeadheadTime = \frac{Length}{40000}$
  - Onde:
    - *Deadhead Time* = tempo, em horas;
    - Velocidade = 40 km/h ou 40.000 m/h;
    - Percorso = Comprimento do Arco (Length), em metros.
- Deadhead Workload:
  - O campo Deadhead Worload foi configurado como a carga máxima de trabalho, no caso da coleta de lixo, a carga máxima de lixo que o caminhão coletor suporta. Foi escolhido o veículo com capacidade máxima de 6.500 kg.
- Service Load: quantidade de lixo gerado e que será coletado em cada trecho de via (arco):
  - Foi inserido o valor 0 (zero) para os arcos por onde o caminhão passa, ou poderia passar, mas não há coleta (não faz parte da área em estudo),

por exemplo, os trechos de vias da Garagem até o início do setor de coleta, ou do setor de coleta até o Aterro Sanitário.

- Service Code: Identificação dos arcos a serem servidos, deve corresponder ao Service Flag:
  - O Service Code foi configurado igual a 1.

Após a configuração da malha viária da área do estudo, a conexão de todos os arcos da rede foi testada com a opção *Tools → Map Editing → Check Line Layer Connectivity*. Confirmando assim a funcionalidade da rede quanto às suas ligações.

A configuração da malha viária considerou o atendimento em duas passadas (em uma pista e depois a outra) para as avenidas com canteiros centrais largos, como as casos das Avenidas José João Dib, Av. 14 entre avenidas 3 e 17, e a Av. Jorge Jacob Yunes entre as avenidas 3 e José João Dib. Considerou-se também que todo o setor pertence a um único distrito.

Após configurar a base de dados na área de estudo, foi criada a rede de transporte (*Network*) para, em seguida, aplicar a rotina de roteamento em arco (*Arc Routing*) em diversas simulações dentro da área de estudo.

A rede de transporte foi configurada sem restrições de movimento, somente definindo um valor de penalização para retornos em “U”. Foi definida esta condição, pois como afirma Deluqui (2003), este *software* TransCAD não se mostrou eficiente com restrições em manobras de conversão à direita e à esquerda.

Segundo Caliper (2002), no problema de roteirização em arco, pessoas ou veículos são despachados de um ou mais depósitos para percorrer um número de vias (arcos) a serem servidas. O resultado do problema de roteirização em arco é um conjunto de uma ou mais rotas que cobrem todas as vias a serem servidas, minimizando a quantidade de vias que não necessitem serem servidas. Todas as rotas iniciam e finalizam em uma garagem ou depósito.

De acordo com Deluqui (2003), o procedimento de roteamento em arco satisfaz a condição estabelecida por Euler, que “para atravessar um conjunto de arcos em uma rede direcionada exatamente uma vez e retornar ao ponto de saída, todo nó da rede deve ter o mesmo número de arcos que entram e que saem”. Para este tipo de análise, o TransCAD utiliza o método de programação linear. O algoritmo toma como solução inicial um número mínimo de nós a serem carregados, verificando se a solução pode ser melhorada. Para de carregar quando consegue ligar o nó de origem ao de destino utilizando-se o número mínimo possível de arcos, minimizando o número de arcos percorridos sem realização de serviço.

Para a aplicação da rotina, foram definidos os seguintes atributos:

- Minimizar comprimento (*Minimize Length*);
- *Service Flag*: conforme definido na base de dados do arquivo geográfico de linhas;
- *Service Code*: corresponde ao número do setor, que foi configurado como igual a 1, pois foi considerada toda a área do estudo como um único setor de coleta;
- Criar sistema de rota (*Create Route System*);
- Criar relatório de itinerário (*Create Itinerary Report*);
- Criar divisões na área de coleta (*Create Shifts*);
- Definição de que tipo de dados da rota gerada pelo programa devem ser relatados (*Skims*), como o comprimento dos percursos onde há realização do serviço e onde não há realização do serviço (*Service & Deadhead Links Separately*) e quantidade de resíduos coletados (*Service Load*).

A rotina de roteamento em arco (*Arc Routing*) possui as opções de criar divisões no setor de estudo, por exemplo a partir da quantidade máxima de resíduo que o veículo pode carregar, ou permite ao usuário definir quantas são as divisões na área. Neste trabalho, optou-se por realizar um pré-dimensionamento para definir quantas divisões na área central da cidade seriam necessárias para realizar toda a coleta de resíduos, utilizando-se para isso o veículo escolhido. O veículo definido possui capacidade de 6.500 kg aproximadamente.

O pré-dimensionamento da quantidade de divisões da área do estudo para realizar todo o serviço de coleta de resíduos, antes da aplicação da rotina de roteamento em arco (*Arc*

*Routing*), foi realizado com base na extensão total das vias que compõem esta área e na quantidade de lixo gerada por metro linear de vias.

A extensão total das vias da área central foi medida na planta da cidade no *software* AutoCAD e a quantidade de lixo gerado por metro linear de via foi definido com base em taxas de geração de resíduos em cidades Brasileiras de médio porte, como Uberlândia (MG), visto que, em 2005, não havia pesagem de lixo em Ituiutaba para saber a quantidade gerada na área central (área do estudo de caso). Desta forma, optou-se por empregar uma taxa de geração de lixo por extensão de via da área central de Uberlândia, fornecida pela empresa responsável por este serviço na cidade, igual a 0,170 kg por metro de via.

A Tabela 16 apresenta o cálculo do pré-dimensionamento realizado.

**Tabela 16: Pré-dimensionamento da quantidade de divisões na área do estudo, em função da estimativa de geração de resíduos na área.**

| Setor        | Extensão            | Coleta Estimada por Km de Via              | Geração de Lixo do Setor                    | Capacidade do Veículo | nº de Viagem do Caminhão*                 | Viagem p/ Coleta Adotada* | Quant. Caminhão Coletor |
|--------------|---------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
|              | (Extensão das vias) | (quantidade de lixo gerado por quilômetro) | (Extensão de vias) x (quant por quilômetro) |                       | (Coleta do Setor / Capacidade do Veículo) |                           |                         |
|              | (km)                | (toneladas/km)                             | (toneladas)                                 | (toneladas)           |                                           | (unidade)                 | (unidade)               |
| Área Central | 70,00               | 0,170                                      | 11,90                                       | 6,5                   | 1,83                                      | 2,00                      | 0,92                    |

(\*) Estes dados referem-se à quantidade de viagens necessárias para realizar a coleta, considerando apenas um veículo coletor, ou a quantidade de veículos necessários para realizar a coleta em todo o setor.

O pré-dimensionamento indicou que são necessárias duas divisões na área em estudo para a realização de toda a coleta de lixo ou duas viagens do veículo coletor considerado. Desta forma, o método da opção *Create Shifts / Shift Settings* da rotina de roteamento em arco escolhido foi o *Number of Shifts* (número de divisões) e especificado o número dois para divisões (# *Shifts* = 2).

A rotina de roteamento em arco foi então aplicada, tendo como objetivo minimizar o percurso percorrido. Para identificar a localização da Garagem e do Aterro Sanitário, foram criadas seleções no arquivo geográfico de pontos.

Já na primeira simulação da rotina, observaram-se elevados números de repetições nos percursos em vias de mão dupla, gerando grandes percursos improdutivos. Assim, optou-se por determinar os sentidos em que os arcos de mão dupla deveriam ser percorridos, tendo como base uma das seguintes opções:

- Dar seguimento ao sentido de fluxo de algumas vias que, em determinados trechos são de mão única, até o limite da área central da cidade;
- Determinar o sentido de fluxo nas vias de mão dupla, alternando-os da seguinte forma: um deveria ser percorrido no sentido norte/sul e o outro no sentido sul/norte;

Após estas condições terem sido implementadas na rede viária, foram realizadas algumas simulações, cada uma delas com alguma alteração no sentido de fluxo de vias de mão dupla, até que fosse obtido o melhor resultado, em termos de redução do percurso improdutivo. Em cada simulação eram verificados se todos os arcos eram atendidos de acordo com a configuração definida na base de dados.

Além do problema observado quando se consideravam os dois sentidos de fluxo nas vias de mão dupla, não foi possível considerar o deslocamento do veículo coletor até o local de disposição final dos resíduos (Aterro Sanitário), pois o software considera que o veículo sai de um ponto (garagem), percorre todo o setor de coleta e retorna ao ponto de origem (garagem). Como é de conhecimento, esta não é a situação real, visto que, ao completar a carga ou percorrer todo setor de coleta, o veículo deve descarregar no aterro sanitário e continuar a coleta, depois retornar ao aterro sanitário e depois voltar à Garagem se não houver mais coleta a ser realizada naquela jornada de trabalho.

Para obter as distâncias de percursos do setor de coleta ao Aterro Sanitário e depois para a Garagem, utilizou-se o procedimento de caminhos mínimos (*Shortest Paths*). Esta função permite o cálculo tendo apenas uma origem e um destino ou mesmo uma origem e vários destinos.

Para fins de comparação e busca da melhor solução que gerasse os menores percursos, outra alternativa foi testada com a mesma configuração de rede de transporte. Nesta

alternativa, definiu-se como ponto de origem o Aterro Sanitário. A segunda alternativa foi testada para comparar as distâncias percorridas pelo caminhão de coleta quando são alterados pontos de origem e destino.

Os resultados fornecidos pela utilização da função Caminhos Mínimos foram acrescentados aos fornecidos pela rotina de roteamento em arco, tendo como origem a garagem da Prefeitura e o destino com o Aterro Sanitário e posterior retorno à Garagem no final dos serviços.

Entretanto, para efeito de somatório de distâncias percorridas, manteve-se a lógica da situação real, ou seja, o veículo saindo da Garagem, deslocando-se até o ponto inicial de coleta no setor, realizando a coleta no setor, dirigindo-se em seguida para descarga no Aterro Sanitário, retornando ao setor para completar a coleta, voltando a descarregar no Aterro Sanitário e depois dirigindo-se à Garagem. Com estes dados, foi possível gerar os parâmetros operacionais da situação simulada no TransCAD e compará-los com os dados obtidos com o mapeamento da situação atual com auxílio do equipamento de GPS.

Optou-se por seguir parâmetros operacionais:

- Percurso de coleta no setor: é o somatório das distâncias, em metros, percorridas, realizando o serviço, pelo caminhão de coleta durante a operação de coleta em cada setor.
- Distâncias percorridas em arcos já servidos pela coleta de lixo: repetições de trechos já servidos;
- Distâncias percorridas Garagem/Setor de Coleta, Setor de Coleta/Disposição Final e Disposição Final/Garagem;
- Necessidade de mão-de-obra para a execução dos serviços: número de motoristas dos veículos de coleta e número de coletores necessários para a execução dos serviços;
- Custo da mão-de-obra para a execução dos serviços: despesas com salários da equipe de coleta de lixo (motoristas e coletores) necessária para a execução dos serviços.

O TransCAD fornece como resultados da rotina o sistema de rota e o relatório que detalha o itinerário a ser percorrido pelo veículo coletor. O software fornece também os dados de entrada e saída.

#### 4.4 RESULTADOS DA ROTINA DE ROTEAMENTO EM ARCO

Após diversas tentativas, obteve-se o melhor resultado na rotina de roteamento em arco para as alternativas com origem na Garagem da Prefeitura (Alternativa 1) e com origem no Aterro Sanitário (Alternativa 2). Lembramos que o pré-dimensionamento da quantidade de viagens necessárias para realizar toda a coleta de lixo no setor, em função da quantidade de resíduos gerados, indicou a necessidade de duas viagens. Não foi imposta ao software a definição das duas partes da área em estudo. Desta forma, foi gerada uma rota com duas divisões que o programa identifica como *Shift #1* e *Shift #2*.

Para o programa TransCAD não foi informado o itinerário nos setores e com o uso da rotina de roteamento em arco o programa gerou na área em estudo, uma subdivisão em dois subsetores, cujo tempo total de coleta ficou acima de 10 horas. Desta forma, considerou-se que, ao descarregar o veículo no Aterro Sanitário após a coleta na primeira parte da área, o veículo deveria se deslocar para a Garagem para a troca de turno. As Figuras 20 e 21 apresentam os melhores resultados obtidos para as duas alternativas.

A Tabela 17 apresenta os resultados da aplicação da rotina de roteamento em arco para as duas alternativas. Os relatórios de itinerários são apresentados no Anexo I.

Para fins de comparação, a Tabela 18 apresenta o somatório das distâncias percorridas pelo veículo de coleta de lixo para a situação gerada pela aplicação das rotinas do TransCAD.

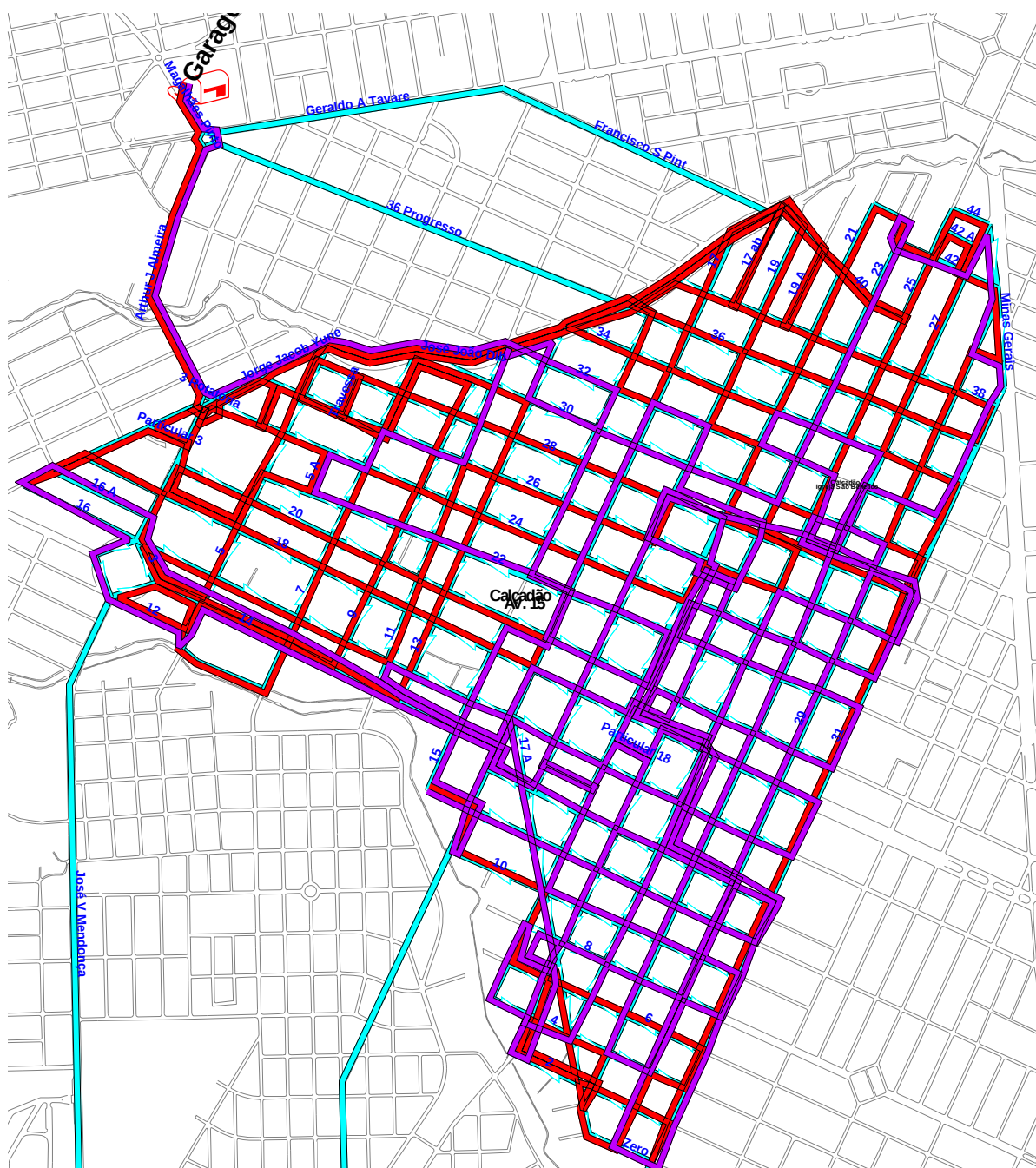


**Figura 20:** Resultado da aplicação da rotina de roteamento em arco  
(Alternativa 1).

Obs.: Em vermelho, o itinerário a ser percorrido pelo veículo coletor de lixo para a primeira divisão da área (*Shift #1*). Em lilás, o itinerário a ser percorrido pelo veículo para a segunda divisão da área (*Shift #2*).

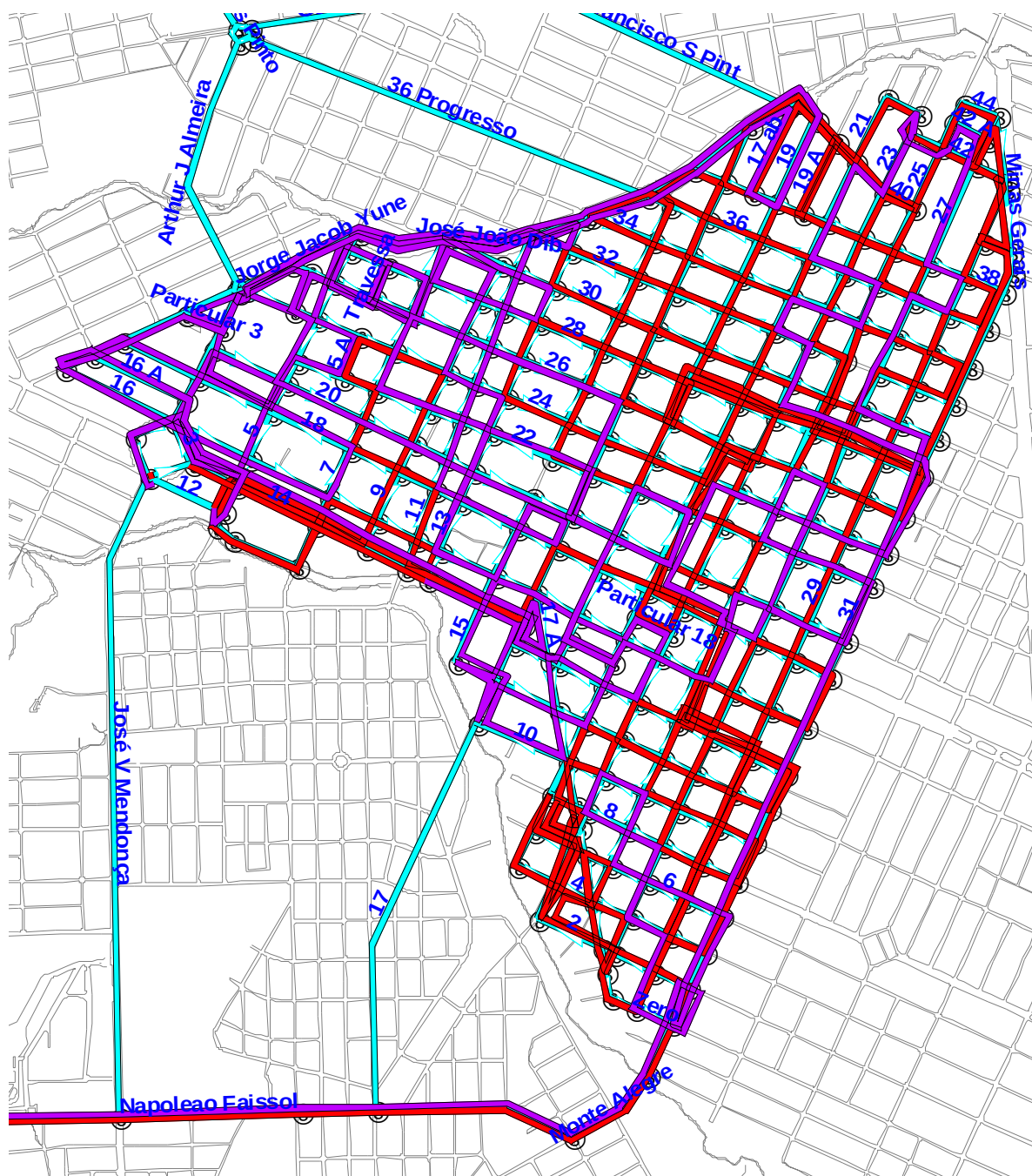


**Figura 21: Resultado da aplicação da rotina de roteamento em arco (Alternativa 2).**

Obs.: Em vermelho, o itinerário a ser percorrido pelo veículo coletor de lixo para a primeira divisão da área (*Shift #1*). Em lilás, o itinerário a ser percorrido pelo veículo para a segunda divisão da área (*Shift #2*).

**Tabela 17: Parâmetros operacionais dos resultados da rotina de roteamento em arco.**

| <b>Distâncias percorridas (m)</b> | <b>Alternativa 1</b> | <b>Alternativa 2</b> |
|-----------------------------------|----------------------|----------------------|
| Garagem – Setor                   | <b>963</b>           | <b>3.872</b>         |
| Setor de Coleta (Shift #1)        | <b>30.504</b>        | <b>30.517</b>        |
| Setor – Aterro                    | <b>5.563</b>         | <b>6.016</b>         |
| Aterro – Garagem                  | <b>7.102</b>         | <b>7.102</b>         |
| Garagem – Setor                   | <b>2.781</b>         | <b>2.305</b>         |
| Setor de Coleta (Shift #2)        | <b>30.642</b>        | <b>30.629</b>        |
| Setor – Aterro                    | <b>6.101</b>         | <b>5.246</b>         |
| Aterro – Garagem                  | <b>7.102</b>         | <b>7.102</b>         |
| Total                             | <b>90.758</b>        | <b>92.789</b>        |
| Percursos improdutivos            | <b>16.392</b>        | <b>19.782</b>        |

**Tabela 18: Resumo dos parâmetros operacionais totais dos resultados da rotina de roteamento em arco.**

| <b>Distâncias percorridas (m)</b> | <b>Alternativa 1</b> | <b>Alternativa 2</b> |
|-----------------------------------|----------------------|----------------------|
| Garagem – Setor                   | <b>3.744</b>         | <b>6.177</b>         |
| Setor de Coleta                   | <b>61.146</b>        | <b>61.146</b>        |
| Setor – Aterro                    | <b>11.664</b>        | <b>11.262</b>        |
| Aterro – Garagem                  | <b>14.204</b>        | <b>14.204</b>        |
| Total                             | <b>90.758</b>        | <b>92.789</b>        |

Para a situação criada a partir da aplicação das rotinas do TransCAD, reduz-se significativamente a utilização da mão-de-obra. Considerando a mesma configuração de equipes da situação atual, ou seja, cada equipe composta por um motorista e dois coletores, a nova situação demandaria a utilização de dois motoristas e quatro coletores. A Tabela 19 apresenta o custo da mão-de-obra da equipe de coleta de lixo, na situação gerada pelo TransCAD.

**Tabela 19: Custo da mão-de-obra, na situação gerada pelo TransCAD.**

|                            | <b>Categoria</b>       | <b>Salário base*<br/>(R\$)</b> | <b>Quantidade</b> | <b>Custo total em<br/>salários (R\$)</b> |
|----------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------|------------------------------------------|
| 1                          | Motorista              | 490,00                         | 2                 | 12.740,00                                |
| 2                          | Gari – coletor de lixo | 490,00                         | 4                 | 25.480,00                                |
| <b>Total / anual (R\$)</b> |                        |                                |                   | <b>38.220,00</b>                         |

(\*) incluindo adicional de insalubridade.

Fonte: Departamento de Recursos Humanos

Secretaria Municipal de Fazenda, Administração e Recursos Humanos de Ituiutaba.

Com os dados obtidos a partir do mapeamento da situação atual dos setores e rotas de coleta de lixo da área central da cidade de Ituiutaba e da situação gerada por meio do TransCAD nesta área de estudo, foi possível comparar as duas situações, em termos de distâncias percorridas e repetições em arcos já servidos. A Tabela 20 e as Figuras 22 e 23 apresentam o comparativo desses indicadores operacionais.

**Tabela 20: Distâncias percorridas, na situação atual mapeada com GPS e na gerada pelo TransCAD.**

| <b>Parâmetros</b>                 | <b>Situação atual</b> | <b>TransCAD</b>      |                      |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
|                                   |                       | <b>Alternativa 1</b> | <b>Alternativa 2</b> |
| Distância percorrida no setor (m) | <b>79.865</b>         | <b>61.146</b>        | <b>61.146</b>        |
| Repetições (m)                    | <b>29.403</b>         | <b>16.392</b>        | <b>19.782</b>        |
| % de repetições                   | <b>36,82</b>          | <b>26,81</b>         | <b>32,35</b>         |
| Garagem – Setor                   | <b>78.440</b>         | <b>3.744</b>         | <b>6.177</b>         |
| Setor – Aterro                    | <b>56.117</b>         | <b>11.664</b>        | <b>11.262</b>        |
| Aterro – Garagem                  | <b>74.036</b>         | <b>14.204</b>        | <b>14.204</b>        |
| Total                             | <b>288.458</b>        | <b>90.758</b>        | <b>92.789</b>        |

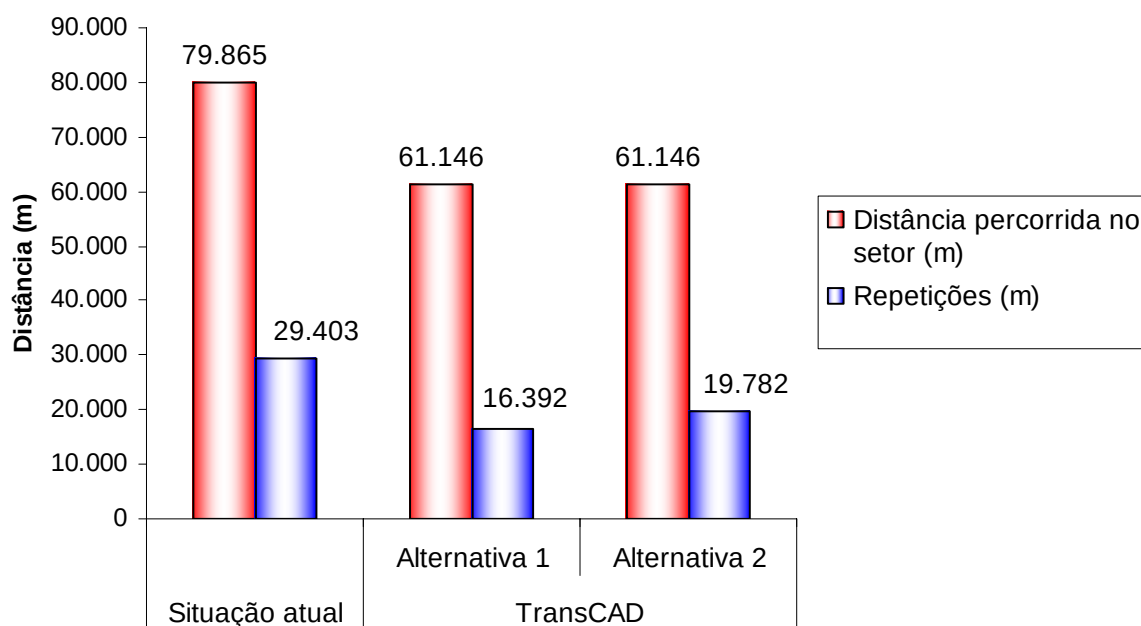


**Figura 22: Distâncias percorridas no setor e repetições sobre trechos já servidos da área do estudo.**

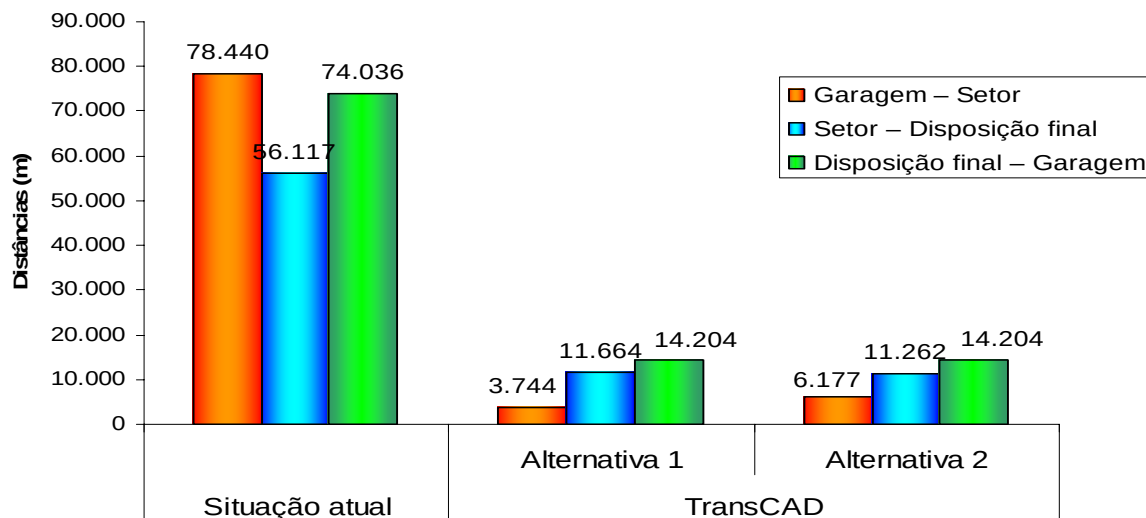


**Figura 23: Distâncias percorridas Garagem/Setor, Setor/Disposição Final e Disposição Final/Garagem.**

Comparando-se os dados obtidos com o mapeamento da situação atual e os dados gerados pelas rotinas do TransCAD, observa-se que são bastante elevadas as distâncias percorridas pelo veículo coletor atualmente fora dos setores da área do estudo. Os resultados obtidos com a aplicação das rotinas mostra que é possível a redução de até 44% nas repetições de

trechos já servidos pela coleta de lixo, bem como a redução de até 68% nas distâncias totais percorridas pelo veículo coletor. A redução de quilômetros percorridos significa redução de despesas com combustíveis, menor desgaste de pneus e redução de custos com manutenções. A economia gerada pode ser revertida em investimentos na melhoria do próprio serviço, como a aquisição de novos equipamentos.

Como citado no item 4.2, elevados percursos improdutivos são gerados atualmente devido a distorções na forma de realização destes serviços, como por exemplo, a rotina das equipes de buscar e levar os coletores de lixo em suas casas, no início e no final dos turnos de trabalho. Muitas vezes, esta situação acontece entre os próprios motoristas que, ao final de um turno, buscam em casa o motorista do próximo turno que irá utilizar o mesmo veículo para coletar em outro setor.

Assim, destaca-se também que são elevadas as despesas com combustíveis e também os custos de manutenção dos veículos e o desgaste de pneus na situação atual.

Observamos que, para a situação atual mapeada por meio de receptores do sistema GPS, foi feita uma estimativa das distâncias percorridas pelos veículos de coleta de lixo nos percursos Garagem/Setor, Setor/Disposição Final (Lixão) e Disposição Final/Garagem, visto que, como detalhado anteriormente, não houve como obter tais parâmetros das rotas em que o veículo percorre um bairro depois a área central ou vice-versa. Conforme detalhado na Tabela 15, para os trechos em que tais parâmetros não puderam ser obtidos, estes foram considerados como a média dos valores dos setores em que foi possível coletar os dados.

A diferença entre o somatório das distâncias percorridas pelo veículo coletor dentro do setor de coleta na situação atual e na gerada pelo TransCAD explica-se pelo fato que, na criação da rede de transporte para a aplicação das rotinas não foram consideradas ruas sem saída. Nestes trechos não incluídos na malha viária, os veículos têm que executar manobras em “U” atualmente, o que poderia ser substituído pelo transporte dos resíduos pelos coletores até a esquina mais próxima onde o veículo passa. Não foram consideradas também algumas vielas existentes onde, atualmente, os veículos de coleta de lixo têm grande dificuldade de transitar em função da pequena largura das vias. Também nesta

situação, os coletores poderão transportar os resíduos para as esquinas mais próximas onde poderia passar o veículo coletor.

A seguir, é apresentada uma tabela resumo mostrando o comparativo da necessidade de mão-de-obra para a execução dos serviços de coleta de lixo na situação atual e na nova situação gerada pelo TransCAD.

**Tabela 21: Despesas com a mão-de-obra necessária, na situação atual e na gerada pelo TransCAD.**

|               | <b>Categoria</b>       | <b>Situação atual</b>    |                         | <b>TransCAD</b>          |                         |
|---------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
|               |                        | <i>Nro de Servidores</i> | <i>Salários/ano R\$</i> | <i>Nro de Servidores</i> | <i>Salários/ano R\$</i> |
| 1             | Motorista              | 7                        | 44.590,00               | 2                        | 12.740,00               |
| 2             | Gari – coletor de lixo | 14                       | 89.180,00               | 4                        | 25.480,00               |
| <b>Totais</b> |                        | <b>21</b>                | <b>133.770,00</b>       | <b>6</b>                 | <b>38.220,00</b>        |

As Figuras 24 e 25 a seguir representam os comparativos da necessidade de mão-de-obra para a execução dos serviços de coleta de lixo na área do estudo, em termos de número de funcionários e despesas com salários.

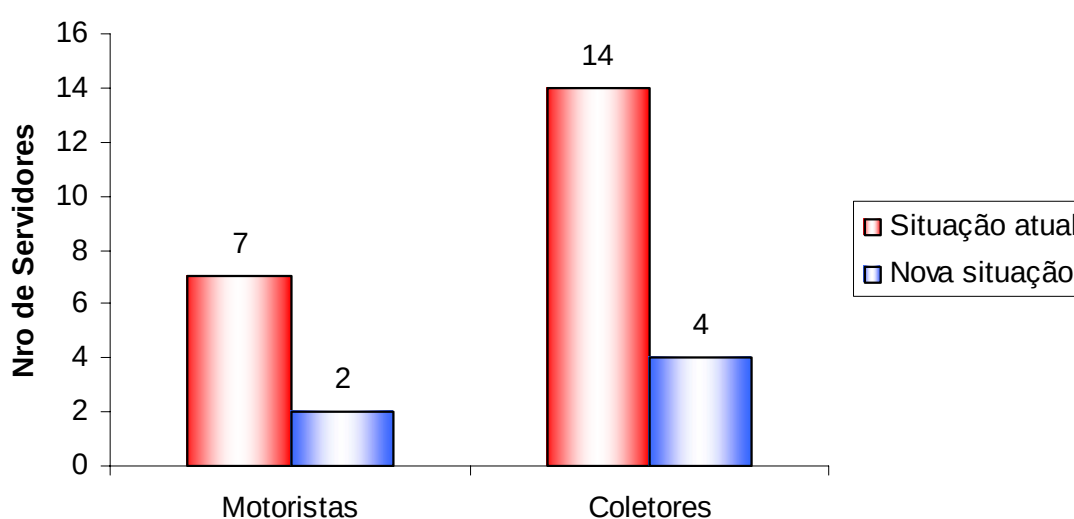


**Figura 24: Número de servidores da coleta de lixo para a situação atual e nova situação gerada pelo TransCAD.**

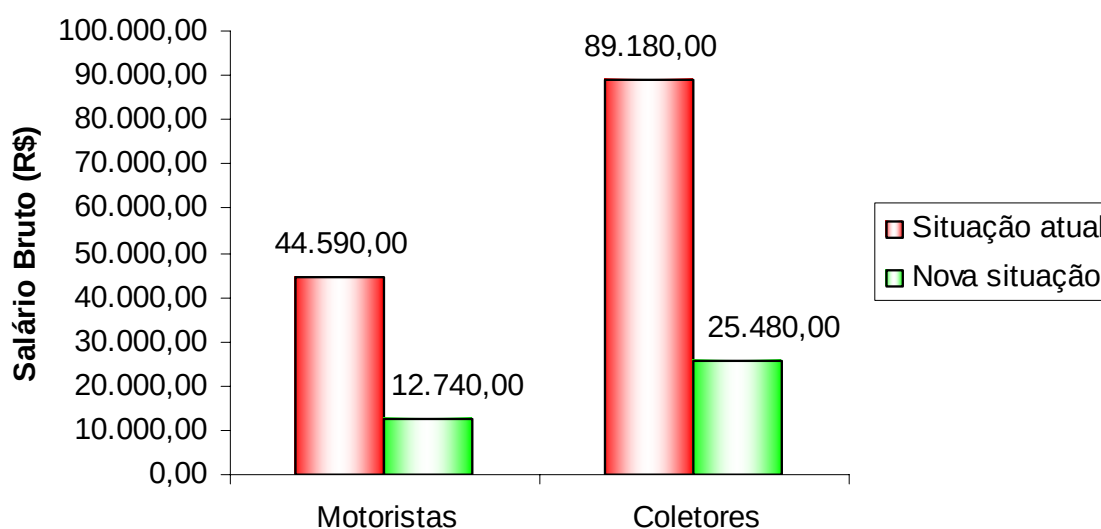


**Figura 25: Despesas com salários das equipes de coleta de lixo para a situação atual e nova situação gerada pelo TransCAD.**

Observa-se que o novo cenário gerado pela rotina de roteamento em arco possibilita redução de 71% do número de servidores e das despesas com salários para a execução dos serviços. Isto permitiria a disponibilização de servidores para a execução de novos serviços que poderiam ser implantados, bem como reforçar equipes de trabalho onde há necessidade de mão-de-obra.

A otimização das rotas e horários de trabalho permitiria também a disponibilização de veículo para reserva, utilizando-se a mesma frota atual. Tais benefícios podem ser ainda maiores estendendo-se a otimização dos setores e rotas de coleta de lixo para o restante da cidade.

# CAPÍTULO 5

## CONCLUSÕES

Por diversos motivos, como falta de disponibilidade de pessoal qualificado e infra-estrutura adequada, as administrações municipais enfrentam diversos problemas para oferecer serviços públicos com boa qualidade à população. Entretanto, algumas ações dos administradores públicos podem subsidiar tomadas de decisões e o efetivo controle dos serviços que são executados rotineiramente. Para isso, é necessário um mínimo de informações sobre aquilo que é realizado, ou seja, um “mapeamento” da situação.

A utilização das tecnologias de GPS e Sistema de Informações Geográficas aplicada aos transportes pode contribuir, não só para mapear, avaliar a situação atual e otimizar os serviços de coleta de lixo, como foi o objeto deste estudo, como também para a melhoria da prestação de diversos outros serviços públicos em uma cidade.

Com base nos mesmos princípios que nortearam a realização deste trabalho, uma enorme diversidade de estudos pode ser realizada a fim de tornar serviços de leitura de hidrômetros, medidores de energia, setores de varrição, coleta de resíduos de serviços de saúde e resíduos especiais, entre outros, mais eficientes e eficazes para a população.

As conclusões deste trabalho são apresentadas sob dois aspectos. O primeiro trata da utilização dos receptores do sistema GPS e o segundo aborda a aplicação do Sistema de Informações Geográficas no estudo de caso, de acordo com os objetivos propostos e com base nos resultados obtidos. São descritas também as recomendações para melhorias operacionais no sistema de coleta de lixo da área em estudo e para trabalhos futuros.

A obtenção de dados altamente precisos é possível quando utilizados equipamentos mais sofisticados, porém de custo elevado. O GPS de navegação, utilizado neste trabalho, tem precisão menor e custo bem acessível, obtendo também excelentes resultados. A utilização de receptores do sistema GPS mostrou-se uma alternativa bastante eficaz para a realização de mapeamentos, em especial para a coleta de informações sobre rotas e itinerários desenvolvidos por veículos em uma cidade. Com relação a tecnologia envolvida no sistema GPS conclui-se o seguinte:

- Esta tecnologia, embora seja altamente complexa, pode ser aplicada em diversos tipos de problemas urbanos com relativa facilidade;
- Sua utilização permite obter dados com boa precisão, como por exemplo, distâncias percorridas, tempos de percursos, velocidades de deslocamento, entre outros.
- O mapeamento das rotas de coleta de lixo da área em estudo permitiu identificar com boa precisão a situação dos serviços prestados, bem como as distorções na execução dos mesmos, como elevados percursos improdutivos em razão de deslocamentos para buscar e levar servidores em suas casas.
- Para a utilização desta tecnologia é necessário dispor de receptores GPS, mapas georreferenciados da área em estudo e programas específicos para tratamento dos dados obtidos dos satélites. Quando os mapas georreferenciados não estiverem disponíveis nas administrações municipais podem ser obtidos através do IBGE.

A utilização de receptores do sistema GPS atingiu plenamente os objetivos de mapeamento da situação atual da coleta de resíduos sólidos domiciliares da área em estudo e poderá ser estendida para as demais áreas da cidade, bem como para outros serviços executados pelo município na área de transportes.

Os resultados obtidos com a aplicação das rotinas do TransCAD mostraram que grandes melhorias nos serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliares podem ser implantadas, mesmo com algumas simplificações que foram utilizadas. Em toda simulação nem sempre é possível representar a situação real com total fidelidade, por isso é necessário fazer algumas adequações para que os procedimentos existentes nos programas utilizados sejam eficazes e mais representativos possíveis da situação existente na área em estudo. Os

resultados mostraram que se pode obter ganhos operacionais, como redução dos percursos desenvolvidos pelos veículos de coleta de lixo, com conseqüente redução de despesas de manutenção e de custeio.

Neste estudo de caso, a aplicação da rotina mostrou redução de aproximadamente 44% nas repetições de trechos já servidos pela coleta de lixo em relação à situação atual, o custo da mão de obra pode ser reduzido em 71% e as distâncias totais percorridas podem se reduzidas em aproximadamente 68%. Estes indicadores demonstram que muitas vantagens e melhorias podem ser obtidas com a utilização desse sistema. Além disso, a localização da nova área de disposição final dos resíduos contribui enormemente para a redução dos deslocamentos.

A nova proposta de coleta de resíduos na área em estudo da cidade de Ituiutaba, ainda mostrou que se pode reduzir o contingente de servidores para a prestação dos serviços. Assim, novas atividades poderão ser implantadas com a disponibilização dos servidores, como por exemplo, a realização da coleta de lixo na zona rural do município.

A formatação e configuração da rede viária demanda grande esforço, mas, uma vez configurada, a mesma pode ser utilizada em diversas outras aplicações, tanto em serviços públicos, quanto em atividades privadas, como logística urbana de abastecimento e distribuição de produtos para empresas.

Quanto aos demais aspectos da utilização do TransCAD, destacam-se:

- Diversidade de aplicação das rotinas considerando outros aspectos, além da otimização das distâncias percorridas, como por exemplo, redução de tempos de deslocamento, otimização do consumo de combustíveis, entre outros.
- Possibilidade de análise de mudanças na rede viária, como inversão de sentidos de deslocamento e interrupção de fluxo em determinados trechos.

O custo elevado para aquisição e implantação de SIG's nas administrações municipais não deve ser entendido como aspecto limitante para sua utilização. Todos os recursos e aplicações possíveis, utilizando uma base única de referência, podem produzir enormes

benefícios aos serviços públicos, traduzidos em competência e eficácia na prestação de serviços à comunidade.

A partir dos resultados obtidos na área em estudo, recomenda-se implementar estes procedimentos para toda a cidade de Ituiutaba. Os benefícios financeiros oriundos desta otimização permitiriam investimentos na melhoria dos equipamentos disponíveis para a prestação dos serviços de coleta de lixo e de limpeza urbana em geral e implementar ações de educação ambiental da população para a redução, reutilização e reciclagem dos resíduos sólidos domiciliares. Com a redução da geração de resíduos, novos esquemas operacionais podem ser planejados, gerando mais benefícios nos fluxos de transportes urbanos e coleta de resíduos.

Para a melhoria da prestação dos serviços da área objeto deste estudo, propõe-se inicialmente modificar a atual condução da realização dos serviços de coleta de resíduos na cidade de Ituiutaba, eliminando-se deslocamentos dos veículos para buscar e levar motoristas e coletores em suas residências no início e no final dos turnos de trabalho, ou determinar veículos leves para realizar este procedimento. Com esta primeira mudança, eliminar-se-ia grande parte dos percursos improdutivos existentes.

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, são propostas também os seguintes estudos:

- Implementar os procedimentos propostos para o estudo de caso, considerando a divisão da área em dois setores distintos e horários diferenciados para a prestação dos serviços na região onde se concentra a maior parte dos estabelecimentos comerciais.
- Estender os procedimentos propostos para o estudo de caso para o restante da cidade de Ituiutaba, otimizando a setorização e as rotas da coleta de lixo de toda a cidade.
- Executar os procedimentos propostos para otimizar o sistema de coleta de resíduos recicláveis (Coleta Seletiva), em função dos estudos realizados para a coleta de lixo comum.

- Executar os procedimentos propostos neste trabalho para implantar os serviços de coleta de resíduos sólidos na zona rural do município de forma eficiente e com menores custos de operação e de manutenção.
- Ampliar os estudos dos sistemas de coleta de resíduos sólidos domiciliares, avaliando outros indicadores de custos para a prestação dos serviços, como custos de manutenção e consumo de combustíveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. O., PHILIPPI Jr, A. *Resíduos Sólidos: Características e Gerenciamento*. In: \_\_\_\_\_. Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamento para o Desenvolvimento Sustentável. Barueri (SP): Editora Manole Ltda, 2004. p. 267-321.

AGUIAR, E. M. *Logística e Transportes na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos*. Texto Sistematizado/Livre-docência. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8419 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. São Paulo, 1985, ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004 – Resíduos sólidos: classificação*. São Paulo, 2004, ABNT.

AZEVEDO NETTO, J.M.; BOTELHO, M.H.C. *Manual de saneamento de cidades e edificações*. São Paulo, Editora Pini, 1991.

BERNARDI, J. V. E., LANDIM, P. M. B. *O uso do “Sistema de Posicionamento Global/GPS” para elaboração de banco de dados geo-referenciados*. Revista Universidade Guarulhos – Geociências, Guarulhos, Ano VII, v. 6, p. 75-79, dez. 2002.

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

CALIPER. *Routing and Logistics with TransCAD 4.0*. Caliper Corporation, Version 4.0, 2002.

CÂMARA, G. MEDEIROS, J. S. In: ASSAD, E. (org.), SANO, E. E. (org.). *Sistemas de Informações Geográficas. Aplicações na Agricultura*. Brasília: Embrapa – SPI, 1998.

CONSONI, A. J., PERES, C. S., CASTRO, A. P. *Origem e Composição do Lixo*. In: Lixo Municipal – Manual de Gerenciamento Integrado. Maria Luíza Otero D’Almeida, André Vilhena (Coordenadores). 2ª ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRES, (Publicação IPT). 2000. 370p. (capítulo II). (a).

CONSONI, A. J., SILVA, I.C., FILHO, A. G. *Disposição Final do Lixo*. In: Lixo Municipal – Manual de Gerenciamento Integrado. Maria Luíza Otero D’Almeida, André Vilhena (Coordenadores). 2ª ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRES, (Publicação IPT). 2000. 370p. (capítulo V). (b).

CUNHA, C. B. *Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais*. Disponível em <  
[http://www.ptr.poli.usp.br/ptr/docentes/cbcunha/files/roteirizacao\\_aspectos\\_praticos\\_CBC.pdf](http://www.ptr.poli.usp.br/ptr/docentes/cbcunha/files/roteirizacao_aspectos_praticos_CBC.pdf)>. Acesso em 02 abril 2005.

DAMASCENO, D. Q., MARAGNO, A. L. F. C. *Gestão de Resíduos Sólidos no Distrito de Tapuirama Uberlândia (MG)*. In: Seminário Nacional de Resíduos Sólidos – Projetos Sócio-econômicos, 7., 2004, São Paulo.

DELUQUI, K. K. *Roteirização para veículo de coleta de resíduos sólidos domiciliares utilizando um Sistema de Informações Geográficas – SIG*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. 222 p.

DONHA, M. S. *Conhecimento e participação da comunidade no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos: o caso de Marechal Cândido Rondon – PR*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. 112 p.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. *Programa de Apoio aos Municípios. Curso: Iniciação ao Desenvolvimento Sustentável / Fundação Estadual do Meio Ambiente*. Belo Horizonte: FEAM, Belo Horizonte, 2001. 352 p.

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

FERREIRA FILHO, V. J. M., MELO, A. C. S. *Sistemas de Roteirização e Programação de Veículos*. Disponível em < [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-74382001000200007&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-74382001000200007&script=sci_arttext&tlng=pt)>. Acesso em 02 abril 2005.

G.P.S. – O “Sistema de Posicionamento Global”. Disponível em <[http://www.gpstm.com/port/apostila\\_port.htm](http://www.gpstm.com/port/apostila_port.htm)>. Acesso em 20 agosto 2005.

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

LEMES, D. C. S. S. *Planejamento do Sistema de Transportes de uma Cidade de Porte Médio Auxiliado por SIG-T*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004. 125 p.

LOPES FILHO, J. I. O. Pós-avaliação da Previsão de Demanda por Transportes no Município de Fortaleza. Disponível em <<http://www.det.ufc.br/petran/teses/tese17.pdf>> acesso em 25 fevereiro 2006.

MALEIROS, T.F., PHILIPPI Jr, A. *Saneamento e Saúde Pública: Integrando o Homem e Ambiente*. In: \_\_\_\_\_. Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamento para o Desenvolvimento Sustentável. Barueri (SP): Editora Manole Ltda, 2004. p. 3-31.

MARK, D. M., CHRISMAN, N., FRANK, A. U., McHAFFIE, P. H., PICKLES, J. *The GIS History Project*. Disponível em <

[http://www.geog.buffalo.edu/ncgia/gishist/bar\\_harbor.html](http://www.geog.buffalo.edu/ncgia/gishist/bar_harbor.html) > Acesso em 24 fevereiro 2006.

MONTEIRO, J. H. P., ZVEIBIL, V. Z. (org.). *Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

NAZÁRIO, P. GIS, Definições e Aplicações na Logística. Disponível em < <http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-busca.htm?fr-gis.htm> > Acesso em 25 fevereiro 2006.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE/ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. OPAS/OMS. Água e Saúde, 1999.

PAES, F. G., ARICA, G. M. *Um Tratamento GRASP Híbrido do Problema do Carteiro Chinês Misto (PCCM) Destinado a Otimização de Rotas para Coleta de Lixo Doméstico*. Disponível em < [http://200.231.172.253/cnmac/storal2/frederico\\_paes\\_ST18.pdf](http://200.231.172.253/cnmac/storal2/frederico_paes_ST18.pdf) >. Acesso em 02 abril de 2005.

PARRA, R., DANTAS, M. L. S., PICHLER E. F., CUNHA, C. B. *Acondicionamento e Coleta do Lixo*. In: *Lixo Municipal – Manual de Gerenciamento Integrado*. Maria Luíza Otero D’Almeida, André Vilhena (Coordenadores). 2ª ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRES, (Publicação IPT). 2000. 370p. (capítulo III).

PELIZARO, C. *Avaliação de Desempenho do Algoritmo de um Programa Comercial para Roteirização de Veículos*. 2000. 153 F; Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

PETRÁGLIA, J. *História*. In: PROJEÇÃO ASSESSORIA E MARKETING. *Ituiutaba 100 anos de História*. Ano 1 – nº 1, 2001.

PHILIPPI Jr, A., BRUNA, G. C., SILVEIRA, V. F. *Planejamento Territorial e Ambiental*. In: \_\_\_\_\_. *Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamento para o Desenvolvimento Sustentável*. Barueri (SP): Editora Manole Ltda, 2004. p. 623-662.

PINA, M. F. *Armazenamento dos Dados em SIG*. In: Conceitos Básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia Aplicados à Saúde. Marília Sá Carvalho, Maria de Fátima de Pina, Simone Maria dos Santos (Coordenadores). Brasília: Organização Panamericana da Saúde / Ministério da Saúde, (Publicação Rede Interagencial de Informações para a Saúde - RIPSa), 2000. 124p. (capítulo II).

ROSE, A. *Uma Avaliação Comparativa de Alguns Sistemas de Informação Geográfica Aplicados aos Transportes*. 2001. 139 F; Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SANTOS, S. M., PINA, M. F., CARVALHO, M. S. *Os Sistemas de Informações Geográficas*. In: Conceitos Básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia Aplicados à Saúde. Marília Sá Carvalho, Maria de Fátima de Pina, Simone Maria dos Santos (Coordenadores). Brasília: Organização Panamericana da Saúde / Ministério da Saúde, (Publicação Rede Interagencial de Informações para a Saúde - RIPSa), 2000. 124p. (capítulo I).

SILVA, R. S., QUINTANILHA, J. A. *SIG na Gestão Municipal*. In: Conferência Latinoamericana sobre Sistemas de Informação Geográfica, 4., 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedad Iberoamericana de SIG – SIBSIG, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993. p. 355-364.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2002*. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, 2004.

TOLENTINO, R. J. V. *GPS (Global Positioning System) – Sistema de Posicionamento Global*. **Pretexto**, Belo Horizonte, v. IV, n. 1, p. 77-100, jul. 2003.

# ANEXO A

## RELATÓRIO DE ITINERÁRIO DE COLETA (TransCAD) ALTERNATIVA 1

### Itinerary Report

ROUTE 1 : depot Garagem shift 1  
 Workload : 5210.37  
 Deadhead Cost : 9587.21  
 # Deadhead Links : 84 (out of 327 links)  
 # Left Turns : 86  
 # Right Turns : 86  
 # U-Turns : 2  
 # straight Turns : 152  
 Turn Penalty Cost: 2000.00

| No.   | Movement      | Street_Name      | Service |
|-------|---------------|------------------|---------|
| ----- |               |                  |         |
| --    |               |                  |         |
| 1     | Start West on | Magalhães Pinto  | No      |
| 2     | Right on      | 36 Progresso     | No      |
| 3     | Right on      | Arthur J Almeira | No      |
| 4     | Right on      | Arthur J Almeida | No      |
| 5     | Left on       | 3 Rotatória      | No      |
| 6     | Left on       | 3 Rotatória      | No      |
| 7     | Left on       | 3 Rotatória      | No      |
| 8     | Right on      | Jorge Jacob Yune | No      |
| 9     | Right on      | 26               | Yes     |
| 10    | Right on      | Tv São José      | No      |
| 11    | Left on       | 24               | Yes     |
| 12    | Continue on   | 24               | Yes     |
| 13    | Left on       | 5 A              | No      |
| 14    | Right on      | 22               | Yes     |
| 15    | Left on       | 5                | No      |
| 16    | Continue on   | 5                | No      |
| 17    | Right on      | 18               | No      |
| 18    | Right on      | 3                | Yes     |

|    |             |                  |     |
|----|-------------|------------------|-----|
| 19 | Right on    | 20               | Yes |
| 20 | Right on    | 5                | Yes |
| 21 | Right on    | 18               | Yes |
| 22 | Right on    | 3                | No  |
| 23 | Continue on | 3                | Yes |
| 24 | Left on     | Particular 3     | Yes |
| 25 | Right on    | Jorge Jacob Yune | Yes |
| 26 | Right on    | 3 Rotatória      | No  |
| 27 | Left on     | 3 Rotatória      | No  |
| 28 | Right on    | 24               | Yes |
| 29 | Left on     | Tv São José      | Yes |
| 30 | Right on    | 26               | Yes |
| 31 | Continue on | 26               | No  |
| 32 | Left on     | Travessa         | Yes |
| 33 | Left on     | 28               | Yes |
| 34 | Left on     | 5                | No  |
| 35 | Left on     | 26               | Yes |
| 36 | Continue on | 26               | Yes |
| 37 | Left on     | 7                | No  |
| 38 | Continue on | 7                | No  |
| 39 | Right on    | 30               | Yes |
| 40 | Continue on | 30               | Yes |
| 41 | Continue on | 30               | Yes |
| 42 | Right on    | 13               | Yes |
| 43 | Continue on | 13               | Yes |
| 44 | Continue on | 13               | Yes |
| 45 | Continue on | 13               | Yes |
| 46 | Continue on | 13               | Yes |
| 47 | Left on     | 20               | Yes |
| 48 | Continue on | 20               | No  |
| 49 | Right on    | 17               | Yes |
| 50 | Right on    | 18               | Yes |
| 51 | Continue on | 18               | Yes |
| 52 | Continue on | 18               | Yes |
| 53 | Continue on | 18               | Yes |
| 54 | Continue on | 18               | Yes |
| 55 | Right on    | 7                | Yes |
| 56 | Continue on | 7                | Yes |
| 57 | Continue on | 7                | Yes |
| 58 | Right on    | 24               | Yes |
| 59 | Right on    | 9                | Yes |
| 60 | Continue on | 9                | Yes |
| 61 | Left on     | 20               | Yes |
| 62 | Left on     | 11               | Yes |
| 63 | Continue on | 11               | Yes |
| 64 | Continue on | 11               | Yes |
| 65 | Right on    | 26               | Yes |
| 66 | Continue on | 26               | Yes |
| 67 | Continue on | 26               | Yes |
| 68 | Continue on | 26               | Yes |

|     |             |               |     |
|-----|-------------|---------------|-----|
| 69  | Left on     | 19            | Yes |
| 70  | Left on     | 28            | Yes |
| 71  | Continue on | 28            | Yes |
| 72  | Continue on | 28            | Yes |
| 73  | Continue on | 28            | Yes |
| 74  | Continue on | 28            | Yes |
| 75  | Continue on | 28            | Yes |
| 76  | Continue on | 28            | Yes |
| 77  | Left on     | Travessa      | No  |
| 78  | Left on     | 26            | No  |
| 79  | Left on     | 7             | Yes |
| 80  | Continue on | 7             | Yes |
| 81  | Right on    | 30            | No  |
| 82  | Right on    | 9             | Yes |
| 83  | Continue on | 9             | Yes |
| 84  | Continue on | 9             | Yes |
| 85  | Left on     | 24            | Yes |
| 86  | Continue on | 24            | Yes |
| 87  | Continue on | 24            | Yes |
| 88  | Continue on | 24            | Yes |
| 89  | Continue on | 24            | Yes |
| 90  | Continue on | 24            | Yes |
| 91  | Left on     | 21            | Yes |
| 92  | Right on    | 26            | No  |
| 93  | Continue on | 26            | Yes |
| 94  | Left on     | 25            | Yes |
| 95  | Left on     | 28            | No  |
| 96  | Continue on | 28            | No  |
| 97  | Right on    | 21            | Yes |
| 98  | Continue on | 21            | Yes |
| 99  | Left on     | 32            | Yes |
| 100 | Right on    | 19            | Yes |
| 101 | Continue on | 19            | Yes |
| 102 | Left on     | 36            | Yes |
| 103 | Continue on | 36            | Yes |
| 104 | Continue on | 36            | Yes |
| 105 | Right on    | José João Dib | Yes |
| 106 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 107 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 108 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 109 | Right on    | 40            | Yes |
| 110 | Continue on | 40            | Yes |
| 111 | Continue on | 40            | Yes |
| 112 | Continue on | 40            | Yes |
| 113 | Continue on | 40            | Yes |
| 114 | Left on     | 25            | Yes |
| 115 | Continue on | 25            | Yes |
| 116 | Continue on | 25            | Yes |
| 117 | Right on    | 44            | Yes |
| 118 | Right on    | 27            | No  |

|     |             |               |     |
|-----|-------------|---------------|-----|
| 119 | Continue on | 27            | No  |
| 120 | Continue on | 27            | Yes |
| 121 | Continue on | 27            | Yes |
| 122 | Continue on | 27            | Yes |
| 123 | Left on     | 34            | Yes |
| 124 | Right on    | 29            | Yes |
| 125 | Continue on | 29            | Yes |
| 126 | Left on     | 30            | Yes |
| 127 | Right on    | 31            | No  |
| 128 | Right on    | 28            | Yes |
| 129 | Continue on | 28            | No  |
| 130 | Continue on | 28            | No  |
| 131 | Continue on | 28            | No  |
| 132 | Right on    | 23            | Yes |
| 133 | Right on    | 30            | Yes |
| 134 | Left on     | 25            | Yes |
| 135 | Continue on | 25            | Yes |
| 136 | Continue on | 25            | Yes |
| 137 | Continue on | 25            | Yes |
| 138 | Right on    | 38            | Yes |
| 139 | Continue on | 38            | Yes |
| 140 | Right on    | 29            | Yes |
| 141 | Right on    | 36            | Yes |
| 142 | Continue on | 36            | Yes |
| 143 | Continue on | 36            | Yes |
| 144 | Continue on | 36            | Yes |
| 145 | Continue on | 36            | Yes |
| 146 | Right on    | 19            | Yes |
| 147 | Continue on | 19            | Yes |
| 148 | Left on     | 40            | No  |
| 149 | Left on     | 17 ab         | No  |
| 150 | Left on     | 38            | Yes |
| 151 | Continue on | 38            | Yes |
| 152 | Left on     | 19 A          | Yes |
| 153 | Left on     | 40            | No  |
| 154 | Continue on | 40            | No  |
| 155 | Left on     | José João Dib | No  |
| 156 | Continue on | José João Dib | No  |
| 157 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 158 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 159 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 160 | Left on     | 34            | Yes |
| 161 | Continue on | 34            | Yes |
| 162 | Right on    | 17            | Yes |
| 163 | Right on    | 32            | Yes |
| 164 | Right on    | 15            | Yes |
| 165 | Continue on | 15            | Yes |
| 166 | Left on     | 36            | No  |
| 167 | Left on     | José João Dib | No  |
| 168 | Continue on | José João Dib | Yes |

|     |             |               |     |
|-----|-------------|---------------|-----|
| 169 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 170 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 171 | Continue on | José João Dib | No  |
| 172 | Left on     | 5             | Yes |
| 173 | Continue on | 5             | Yes |
| 174 | Continue on | 5             | Yes |
| 175 | Continue on | 5             | Yes |
| 176 | Continue on | 5             | Yes |
| 177 | Left on     | 20            | Yes |
| 178 | Continue on | 20            | Yes |
| 179 | Right on    | 9             | Yes |
| 180 | Continue on | 9             | Yes |
| 181 | Continue on | 9             | Yes |
| 182 | Right on    | 14            | Yes |
| 183 | Continue on | 14            | No  |
| 184 | Left on     | 5             | No  |
| 185 | Right on    | 12            | No  |
| 186 | Right on    | 3             | Yes |
| 187 | Right on    | 14            | Yes |
| 188 | Right on    | 5             | No  |
| 189 | Continue on | 5             | No  |
| 190 | Left on     | 12            | Yes |
| 191 | Left on     | 12            | Yes |
| 192 | Left on     | 7             | Yes |
| 193 | Left on     | 14            | Yes |
| 194 | Continue on | 14            | No  |
| 195 | Right on    | 3             | No  |
| 196 | Left on     | 16            | Yes |
| 197 | Continue on | 16            | Yes |
| 198 | Continue on | 16            | Yes |
| 199 | Continue on | 16            | Yes |
| 200 | Left on     | 11            | Yes |
| 201 | Continue on | 11            | Yes |
| 202 | Right on    | 20            | Yes |
| 203 | Right on    | 13            | Yes |
| 204 | Continue on | 13            | Yes |
| 205 | Continue on | 13            | Yes |
| 206 | Right on    | 14            | Yes |
| 207 | Continue on | 14            | Yes |
| 208 | Continue on | 14            | No  |
| 209 | Right on    | 7             | Yes |
| 210 | Continue on | 7             | Yes |
| 211 | Left on     | 18            | Yes |
| 212 | Left on     | 5             | Yes |
| 213 | Continue on | 5             | Yes |
| 214 | Right on    | 14            | Yes |
| 215 | Right on    | 3             | No  |
| 216 | Right on    | 3             | No  |
| 217 | Continue on | 3             | Yes |
| 218 | Left on     | 18            | Yes |

|     |             |                  |     |
|-----|-------------|------------------|-----|
| 219 | Left on     | Jorge Jacob Yune | No  |
| 220 | Continue on | Jorge Jacob Yune | No  |
| 221 | U-turn on   | Jorge Jacob Yune | Yes |
| 222 | Continue on | Jorge Jacob Yune | Yes |
| 223 | Continue on | Jorge Jacob Yune | Yes |
| 224 | Right on    | Particular 3     | No  |
| 225 | Left on     | 3                | Yes |
| 226 | Right on    | 3 Rotatória      | No  |
| 227 | Left on     | 3 Rotatória      | No  |
| 228 | Right on    | Jorge Jacob Yune | Yes |
| 229 | Continue on | Jorge Jacob Yune | Yes |
| 230 | Right on    | José João Dib    | Yes |
| 231 | Continue on | José João Dib    | Yes |
| 232 | Continue on | José João Dib    | No  |
| 233 | Continue on | José João Dib    | Yes |
| 234 | Continue on | José João Dib    | Yes |
| 235 | Continue on | José João Dib    | No  |
| 236 | Right on    | 38               | Yes |
| 237 | Continue on | 38               | Yes |
| 238 | Left on     | 17 ab            | Yes |
| 239 | Left on     | José João Dib    | Yes |
| 240 | Continue on | José João Dib    | Yes |
| 241 | Left on     | 17               | Yes |
| 242 | Continue on | 17               | Yes |
| 243 | Continue on | 17               | Yes |
| 244 | Left on     | 34               | Yes |
| 245 | Continue on | 34               | Yes |
| 246 | Left on     | 21               | Yes |
| 247 | Continue on | 21               | Yes |
| 248 | Right on    | 38               | Yes |
| 249 | Continue on | 38               | Yes |
| 250 | Left on     | 25               | Yes |
| 251 | Left on     | 40               | No  |
| 252 | Continue on | 40               | No  |
| 253 | Continue on | 40               | No  |
| 254 | Left on     | 19 A             | No  |
| 255 | Left on     | 38               | Yes |
| 256 | Left on     | 21               | Yes |
| 257 | Continue on | 21               | Yes |
| 258 | Right on    | 42               | Yes |
| 259 | Right on    | 23               | No  |
| 260 | Left on     | 42               | No  |
| 261 | Left on     | 25               | No  |
| 262 | Right on    | 42 A             | Yes |
| 263 | Right on    | 27               | No  |
| 264 | Left on     | 42               | Yes |
| 265 | Right on    | Minas Gerais     | No  |
| 266 | Continue on | Minas Gerais     | Yes |
| 267 | Right on    | 40               | No  |
| 268 | Left on     | 29               | Yes |

|     |             |      |     |
|-----|-------------|------|-----|
| 269 | Left on     | 38   | Yes |
| 270 | Right on    | 31   | Yes |
| 271 | Right on    | 36   | Yes |
| 272 | Left on     | 29   | Yes |
| 273 | Left on     | 34   | Yes |
| 274 | Right on    | 31   | Yes |
| 275 | Continue on | 31   | Yes |
| 276 | Continue on | 31   | Yes |
| 277 | Continue on | 31   | Yes |
| 278 | Continue on | 31   | Yes |
| 279 | Continue on | 31   | Yes |
| 280 | Continue on | 31   | Yes |
| 281 | Continue on | 31   | Yes |
| 282 | Continue on | 31   | Yes |
| 283 | Continue on | 31   | Yes |
| 284 | Continue on | 31   | Yes |
| 285 | Continue on | 31   | Yes |
| 286 | Continue on | 31   | Yes |
| 287 | Continue on | 31   | Yes |
| 288 | Continue on | 31   | Yes |
| 289 | Continue on | 31   | Yes |
| 290 | Continue on | 31   | Yes |
| 291 | U-turn on   | 31   | No  |
| 292 | Left on     | 2    | Yes |
| 293 | Continue on | 2    | Yes |
| 294 | Left on     | 27   | Yes |
| 295 | Left on     | 17 A | Yes |
| 296 | Left on     | Zero | Yes |
| 297 | Left on     | 29   | No  |
| 298 | Continue on | 29   | No  |
| 299 | Right on    | 4    | Yes |
| 300 | Left on     | 31   | No  |
| 301 | Left on     | 6    | Yes |
| 302 | Continue on | 6    | Yes |
| 303 | Continue on | 6    | Yes |
| 304 | Continue on | 6    | Yes |
| 305 | Continue on | 6    | Yes |
| 306 | Right on    | 23   | Yes |
| 307 | Right on    | 17 A | Yes |
| 308 | Continue on | 17 A | Yes |
| 309 | Continue on | 17 A | Yes |
| 310 | Right on    | 2    | No  |
| 311 | Right on    | 23   | No  |
| 312 | Right on    | 4    | No  |
| 313 | Continue on | 4    | Yes |
| 314 | Right on    | 27   | Yes |
| 315 | Right on    | 2    | Yes |
| 316 | Left on     | 17 A | Yes |
| 317 | Left on     | 27   | No  |
| 318 | Left on     | 2    | No  |

|     |             |    |     |
|-----|-------------|----|-----|
| 319 | Continue on | 2  | Yes |
| 320 | Right on    | 23 | No  |
| 321 | Continue on | 23 | No  |
| 322 | Left on     | 6  | No  |
| 323 | Right on    | 21 | No  |
| 324 | Continue on | 21 | Yes |
| 325 | Left on     | 10 | Yes |
| 326 | Right on    | 17 | No  |
| 327 | Left on     | 12 | No  |

ROUTE 1 : depot Garagem shift 2  
 Workload : 5210.48  
 Deadhead Cost : 11511.42  
 # Deadhead Links : 95 (out of 350 links)  
 # Left Turns : 96  
 # Right Turns : 87  
 # U-Turns : 5  
 # straight Turns : 161  
 Turn Penalty Cost: 5000.00

| No.   | Movement       | Street_Name      | Service |
|-------|----------------|------------------|---------|
| ----- |                |                  |         |
| --    |                |                  |         |
| 1     | Start South on | 12               | Yes     |
| 2     | Continue on    | 12               | Yes     |
| 3     | Continue on    | 12               | Yes     |
| 4     | Left on        | 21               | Yes     |
| 5     | Continue on    | 21               | Yes     |
| 6     | Left on        | Tv Nsa Sra Abadi | No      |
| 7     | Left on        | 19               | Yes     |
| 8     | Right on       | 14               | No      |
| 9     | Continue on    | 14               | No      |
| 10    | Right on       | 17               | No      |
| 11    | Continue on    | 17               | No      |
| 12    | Right on       | 16               | Yes     |
| 13    | Right on       | 19               | Yes     |
| 14    | Left on        | Tv Nsa Sra Abadi | Yes     |
| 15    | Left on        | 21               | Yes     |
| 16    | Right on       | 16               | Yes     |
| 17    | Continue on    | 16               | Yes     |
| 18    | Left on        | 25               | No      |
| 19    | Continue on    | 25               | Yes     |
| 20    | Continue on    | 25               | Yes     |
| 21    | Left on        | 22               | Yes     |
| 22    | Left on        | 23               | Yes     |
| 23    | Left on        | 20               | Yes     |
| 24    | Continue on    | 20               | Yes     |
| 25    | Right on       | 27               | Yes     |

|    |             |      |     |
|----|-------------|------|-----|
| 26 | Continue on | 27   | Yes |
| 27 | Continue on | 27   | Yes |
| 28 | Continue on | 27   | Yes |
| 29 | Continue on | 27   | Yes |
| 30 | Continue on | 27   | Yes |
| 31 | Left on     | 8    | Yes |
| 32 | Left on     | 29   | No  |
| 33 | Left on     | 10   | Yes |
| 34 | Continue on | 10   | Yes |
| 35 | Continue on | 10   | Yes |
| 36 | Continue on | 10   | Yes |
| 37 | Right on    | 21   | Yes |
| 38 | Right on    | 12   | Yes |
| 39 | Right on    | 23   | Yes |
| 40 | Continue on | 23   | Yes |
| 41 | Left on     | 8    | Yes |
| 42 | Left on     | 25   | Yes |
| 43 | Continue on | 25   | Yes |
| 44 | Continue on | 25   | Yes |
| 45 | Continue on | 25   | Yes |
| 46 | Right on    | 16   | Yes |
| 47 | Continue on | 16   | Yes |
| 48 | Right on    | 29   | Yes |
| 49 | Right on    | 14   | Yes |
| 50 | Continue on | 14   | Yes |
| 51 | Continue on | 14   | Yes |
| 52 | Left on     | 23   | Yes |
| 53 | Left on     | 12   | Yes |
| 54 | Continue on | 12   | Yes |
| 55 | Continue on | 12   | Yes |
| 56 | Right on    | 29   | Yes |
| 57 | Continue on | 29   | Yes |
| 58 | Continue on | 29   | Yes |
| 59 | Continue on | 29   | Yes |
| 60 | Continue on | 29   | Yes |
| 61 | Continue on | 29   | Yes |
| 62 | Left on     | Zero | Yes |
| 63 | Left on     | 31   | No  |
| 64 | Continue on | 31   | No  |
| 65 | Continue on | 31   | No  |
| 66 | Continue on | 31   | No  |
| 67 | Continue on | 31   | No  |
| 68 | Left on     | 10   | Yes |
| 69 | Right on    | 29   | No  |
| 70 | Continue on | 29   | No  |
| 71 | Left on     | 14   | No  |
| 72 | Continue on | 14   | No  |
| 73 | Right on    | 25   | No  |
| 74 | Continue on | 25   | Yes |
| 75 | Left on     | 18   | No  |

|     |             |               |     |
|-----|-------------|---------------|-----|
| 76  | Left on     | 23            | Yes |
| 77  | Right on    | Particular 18 | No  |
| 78  | Right on    | 21            | Yes |
| 79  | Continue on | 21            | No  |
| 80  | Continue on | 21            | No  |
| 81  | Left on     | 22            | Yes |
| 82  | Continue on | 22            | Yes |
| 83  | Left on     | 17            | Yes |
| 84  | Left on     | 20            | Yes |
| 85  | Continue on | 20            | Yes |
| 86  | Left on     | 21            | Yes |
| 87  | Continue on | 21            | No  |
| 88  | Continue on | 21            | No  |
| 89  | Right on    | 26            | No  |
| 90  | Right on    | 23            | Yes |
| 91  | Left on     | 24            | Yes |
| 92  | Continue on | 24            | Yes |
| 93  | Right on    | 27            | Yes |
| 94  | Right on    | 22            | Yes |
| 95  | Right on    | 25            | Yes |
| 96  | Continue on | 25            | Yes |
| 97  | Right on    | 26            | Yes |
| 98  | Continue on | 26            | Yes |
| 99  | Right on    | 29            | Yes |
| 100 | Left on     | 24            | Yes |
| 101 | Left on     | 31            | No  |
| 102 | Continue on | 31            | No  |
| 103 | Left on     | 28            | No  |
| 104 | Left on     | 29            | Yes |
| 105 | Left on     | 26            | Yes |
| 106 | Left on     | 31            | No  |
| 107 | Left on     | 28            | No  |
| 108 | Continue on | 28            | Yes |
| 109 | Continue on | 28            | Yes |
| 110 | Right on    | 25            | No  |
| 111 | Right on    | 30            | Yes |
| 112 | Right on    | 27            | Yes |
| 113 | Right on    | 28            | No  |
| 114 | Right on    | 25            | Yes |
| 115 | Continue on | 25            | No  |
| 116 | Left on     | 32            | Yes |
| 117 | Right on    | 23            | Yes |
| 118 | Continue on | 23            | Yes |
| 119 | Continue on | 23            | Yes |
| 120 | Continue on | 23            | Yes |
| 121 | Continue on | 23            | Yes |
| 122 | Continue on | 23            | Yes |
| 123 | U-turn on   | 23            | No  |
| 124 | Left on     | 42            | Yes |
| 125 | Continue on | 42            | Yes |

|     |             |                  |     |
|-----|-------------|------------------|-----|
| 126 | Left on     | 27               | Yes |
| 127 | Continue on | 27               | Yes |
| 128 | Right on    | Minas Gerais     | Yes |
| 129 | Continue on | Minas Gerais     | Yes |
| 130 | Continue on | 29               | Yes |
| 131 | Left on     | 40               | Yes |
| 132 | Right on    | Minas Gerais     | Yes |
| 133 | Continue on | 31               | Yes |
| 134 | Continue on | 31               | No  |
| 135 | Continue on | 31               | Yes |
| 136 | Continue on | 31               | No  |
| 137 | Right on    | 32               | Yes |
| 138 | Continue on | 32               | Yes |
| 139 | Left on     | 27               | No  |
| 140 | Left on     | 30               | Yes |
| 141 | Right on    | 29               | Yes |
| 142 | Right on    | 28               | No  |
| 143 | Continue on | 28               | No  |
| 144 | Continue on | 28               | Yes |
| 145 | Continue on | 28               | Yes |
| 146 | Continue on | 28               | No  |
| 147 | Left on     | 19               | No  |
| 148 | Continue on | 19               | Yes |
| 149 | Continue on | 19               | Yes |
| 150 | Continue on | 19               | Yes |
| 151 | Continue on | 19               | Yes |
| 152 | Continue on | 19               | Yes |
| 153 | Left on     | 16               | Yes |
| 154 | Left on     | 21               | Yes |
| 155 | Right on    | Particular 18    | Yes |
| 156 | Right on    | 23               | Yes |
| 157 | Continue on | 23               | Yes |
| 158 | Right on    | 14               | Yes |
| 159 | Continue on | 14               | Yes |
| 160 | Continue on | 14               | Yes |
| 161 | Continue on | 14               | Yes |
| 162 | Right on    | 17               | No  |
| 163 | Left on     | 14               | No  |
| 164 | Continue on | 14               | No  |
| 165 | Continue on | 14               | No  |
| 166 | Continue on | 14               | No  |
| 167 | Continue on | 14               | No  |
| 168 | Continue on | 14               | No  |
| 169 | Continue on | 14               | No  |
| 170 | Right on    | 3                | Yes |
| 171 | Right on    | 3                | Yes |
| 172 | Left on     | 16 A             | Yes |
| 173 | Left on     | Jorge Jacob Yune | No  |
| 174 | Left on     | 16               | Yes |
| 175 | Right on    | 3                | Yes |

|     |             |      |     |
|-----|-------------|------|-----|
| 176 | Left on     | 3    | Yes |
| 177 | Left on     | 12   | Yes |
| 178 | Continue on | 5    | No  |
| 179 | U-turn on   | 5    | Yes |
| 180 | Continue on | 5    | Yes |
| 181 | Right on    | 14   | Yes |
| 182 | Continue on | 14   | Yes |
| 183 | Continue on | 14   | Yes |
| 184 | Continue on | 14   | Yes |
| 185 | Continue on | 14   | Yes |
| 186 | Continue on | 14   | Yes |
| 187 | Right on    | 17   | Yes |
| 188 | Continue on | 17   | Yes |
| 189 | Continue on | 17   | Yes |
| 190 | U-turn on   | 17   | No  |
| 191 | Left on     | 12   | No  |
| 192 | Right on    | 15   | Yes |
| 193 | Left on     | 14   | No  |
| 194 | Continue on | 14   | No  |
| 195 | Right on    | 11   | Yes |
| 196 | Right on    | 16   | Yes |
| 197 | Continue on | 16   | Yes |
| 198 | Continue on | 16   | Yes |
| 199 | Right on    | 17 A | Yes |
| 200 | Continue on | 17 A | Yes |
| 201 | Continue on | 17 A | Yes |
| 202 | Continue on | 17 A | Yes |
| 203 | Continue on | 17 A | Yes |
| 204 | Right on    | 23   | No  |
| 205 | Right on    | 6    | No  |
| 206 | Right on    | 21   | No  |
| 207 | U-turn on   | 21   | Yes |
| 208 | Continue on | 21   | Yes |
| 209 | Left on     | 4    | Yes |
| 210 | Right on    | 23   | Yes |
| 211 | U-turn on   | 23   | No  |
| 212 | Continue on | 23   | No  |
| 213 | Left on     | 6    | Yes |
| 214 | Right on    | 21   | No  |
| 215 | Right on    | 8    | Yes |
| 216 | Continue on | 8    | Yes |
| 217 | Right on    | 23   | Yes |
| 218 | Continue on | 23   | No  |
| 219 | Continue on | 23   | Yes |
| 220 | Left on     | 4    | Yes |
| 221 | Left on     | 25   | Yes |
| 222 | Continue on | 25   | Yes |
| 223 | Right on    | 8    | Yes |
| 224 | Right on    | 27   | Yes |
| 225 | Continue on | 27   | Yes |

---

|     |             |    |     |
|-----|-------------|----|-----|
| 226 | Left on     | 4  | Yes |
| 227 | Left on     | 29 | No  |
| 228 | Continue on | 29 | No  |
| 229 | Right on    | 8  | Yes |
| 230 | Left on     | 31 | No  |
| 231 | Continue on | 31 | No  |
| 232 | Continue on | 31 | No  |
| 233 | Left on     | 14 | Yes |
| 234 | Left on     | 29 | Yes |
| 235 | Left on     | 12 | Yes |
| 236 | Left on     | 31 | No  |
| 237 | Left on     | 14 | No  |
| 238 | Continue on | 14 | No  |
| 239 | Continue on | 14 | No  |
| 240 | Right on    | 25 | No  |
| 241 | Continue on | 25 | No  |
| 242 | Left on     | 18 | Yes |
| 243 | Continue on | 18 | Yes |
| 244 | Right on    | 21 | No  |
| 245 | Continue on | 21 | No  |
| 246 | Continue on | 21 | No  |
| 247 | Right on    | 24 | Yes |
| 248 | Right on    | 23 | Yes |
| 249 | Right on    | 22 | Yes |
| 250 | Right on    | 21 | Yes |
| 251 | Continue on | 21 | No  |
| 252 | Continue on | 21 | Yes |
| 253 | Left on     | 28 | No  |
| 254 | Left on     | 19 | No  |
| 255 | Left on     | 26 | Yes |
| 256 | Continue on | 26 | Yes |
| 257 | Left on     | 23 | Yes |
| 258 | Left on     | 28 | No  |
| 259 | Continue on | 28 | Yes |
| 260 | Right on    | 19 | Yes |
| 261 | Continue on | 19 | Yes |
| 262 | Left on     | 32 | Yes |
| 263 | Left on     | 17 | Yes |
| 264 | Continue on | 17 | Yes |
| 265 | Continue on | 17 | Yes |
| 266 | Continue on | 17 | Yes |
| 267 | Continue on | 17 | Yes |
| 268 | Right on    | 22 | No  |
| 269 | Right on    | 15 | Yes |
| 270 | Continue on | 15 | Yes |
| 271 | Continue on | 15 | Yes |
| 272 | Continue on | 15 | Yes |
| 273 | Right on    | 30 | Yes |
| 274 | Continue on | 30 | Yes |
| 275 | Continue on | 30 | Yes |

---

|     |             |    |     |
|-----|-------------|----|-----|
| 276 | Continue on | 30 | Yes |
| 277 | Left on     | 23 | Yes |
| 278 | Left on     | 32 | Yes |
| 279 | Right on    | 21 | Yes |
| 280 | Right on    | 34 | Yes |
| 281 | Continue on | 34 | Yes |
| 282 | Continue on | 34 | Yes |
| 283 | Right on    | 27 | Yes |
| 284 | Continue on | 27 | Yes |
| 285 | Continue on | 27 | No  |
| 286 | Continue on | 27 | Yes |
| 287 | Continue on | 27 | Yes |
| 288 | Left on     | 24 | Yes |
| 289 | Right on    | 29 | Yes |
| 290 | Right on    | 22 | Yes |
| 291 | Left on     | 27 | Yes |
| 292 | Left on     | 20 | Yes |
| 293 | Continue on | 20 | Yes |
| 294 | Left on     | 31 | No  |
| 295 | Left on     | 22 | Yes |
| 296 | Left on     | 29 | Yes |
| 297 | Continue on | 29 | Yes |
| 298 | Continue on | 29 | Yes |
| 299 | Left on     | 16 | Yes |
| 300 | Left on     | 31 | No  |
| 301 | Left on     | 18 | Yes |
| 302 | Continue on | 18 | Yes |
| 303 | Continue on | 18 | Yes |
| 304 | Continue on | 18 | No  |
| 305 | Continue on | 18 | No  |
| 306 | Right on    | 21 | Yes |
| 307 | Right on    | 20 | Yes |
| 308 | Right on    | 23 | Yes |
| 309 | Right on    | 18 | No  |
| 310 | Continue on | 18 | Yes |
| 311 | Continue on | 18 | Yes |
| 312 | Left on     | 17 | Yes |
| 313 | Continue on | 17 | Yes |
| 314 | Right on    | 14 | No  |
| 315 | Right on    | 15 | Yes |
| 316 | Continue on | 15 | Yes |
| 317 | Continue on | 15 | Yes |
| 318 | Left on     | 20 | Yes |
| 319 | Left on     | 17 | No  |
| 320 | Left on     | 22 | Yes |
| 321 | Continue on | 22 | Yes |
| 322 | Continue on | 22 | Yes |
| 323 | Continue on | 22 | Yes |
| 324 | Continue on | 22 | Yes |
| 325 | Continue on | 22 | Yes |

---

|     |             |                  |     |
|-----|-------------|------------------|-----|
| 326 | Right on    | 5 A              | Yes |
| 327 | Left on     | 24               | Yes |
| 328 | Left on     | 7                | Yes |
| 329 | Right on    | 26               | Yes |
| 330 | Continue on | 26               | Yes |
| 331 | Left on     | 11               | Yes |
| 332 | Continue on | 11               | Yes |
| 333 | Continue on | 11               | Yes |
| 334 | Right on    | José João Dib    | Yes |
| 335 | Right on    | 13               | Yes |
| 336 | Continue on | 13               | Yes |
| 337 | Left on     | 30               | Yes |
| 338 | Left on     | 15               | Yes |
| 339 | Left on     | 32               | Yes |
| 340 | Continue on | 32               | Yes |
| 341 | Left on     | José João Dib    | No  |
| 342 | Continue on | José João Dib    | Yes |
| 343 | Left on     | Jorge Jacob Yune | Yes |
| 344 | Continue on | Jorge Jacob Yune | Yes |
| 345 | Right on    | 3 Rotatória      | No  |
| 346 | Right on    | Arthur J Almeida | No  |
| 347 | Right on    | 36 Progresso     | No  |
| 348 | Left on     | 36 Progresso     | No  |
| 349 | Left on     | 36 Progresso     | No  |
| 350 | Right on    | Magalhães Pinto  | No  |

# ANEXO B

## RELATÓRIO DE ITINERÁRIO DE COLETA (TransCAD) ALTERNATIVA 2

### Itinerary Report

ROUTE 1 : depot Aterro Sanitário shift 1  
 Workload : 5206.75  
 Deadhead Cost : 16100.55  
 # Deadhead Links : 102 (out of 360 links)  
 # Left Turns : 99  
 # Right Turns : 87  
 # U-Turns : 2  
 # straight Turns : 171  
 Turn Penalty Cost: 2000.00

| No.   | Movement       | Street_Name      | Service |
|-------|----------------|------------------|---------|
| ----- |                |                  |         |
| --    |                |                  |         |
| 1     | Start South on | Napoleão Faissol | No      |
| 2     | Continue on    | Napoleao Faissol | No      |
| 3     | Continue on    | Napoleão Faissol | No      |
| 4     | Continue on    | Napoleão Faissol | No      |
| 5     | Left on        | Monte Alegre     | No      |
| 6     | Right on       | 31               | No      |
| 7     | Continue on    | 31               | No      |
| 8     | Left on        | 2                | Yes     |
| 9     | Continue on    | 2                | Yes     |
| 10    | Continue on    | 2                | No      |
| 11    | Continue on    | 2                | No      |
| 12    | Right on       | 23               | No      |
| 13    | Continue on    | 23               | No      |
| 14    | Continue on    | 23               | Yes     |
| 15    | Right on       | 17 A             | Yes     |
| 16    | Right on       | 6                | Yes     |
| 17    | Continue on    | 6                | No      |
| 18    | Right on       | 21               | No      |

|    |             |      |     |
|----|-------------|------|-----|
| 19 | U-turn on   | 21   | Yes |
| 20 | Continue on | 21   | Yes |
| 21 | Left on     | 4    | Yes |
| 22 | Left on     | 23   | No  |
| 23 | Left on     | 6    | No  |
| 24 | Right on    | 21   | No  |
| 25 | Right on    | 8    | Yes |
| 26 | Continue on | 8    | Yes |
| 27 | Right on    | 23   | Yes |
| 28 | Continue on | 23   | No  |
| 29 | Right on    | 6    | Yes |
| 30 | Right on    | 21   | No  |
| 31 | Continue on | 21   | Yes |
| 32 | Continue on | 21   | Yes |
| 33 | Right on    | 12   | Yes |
| 34 | Right on    | 23   | Yes |
| 35 | Right on    | 10   | Yes |
| 36 | Left on     | 17 A | Yes |
| 37 | Continue on | 17 A | Yes |
| 38 | Right on    | 23   | No  |
| 39 | Continue on | 23   | Yes |
| 40 | Continue on | 23   | Yes |
| 41 | U-turn on   | 23   | No  |
| 42 | Right on    | 4    | Yes |
| 43 | Right on    | 17 A | Yes |
| 44 | Continue on | 17 A | Yes |
| 45 | Left on     | 27   | No  |
| 46 | Left on     | 2    | Yes |
| 47 | Continue on | 2    | Yes |
| 48 | Right on    | 23   | No  |
| 49 | Right on    | 4    | No  |
| 50 | Left on     | 25   | Yes |
| 51 | Left on     | 6    | Yes |
| 52 | Left on     | 17 A | Yes |
| 53 | Left on     | 4    | Yes |
| 54 | Right on    | 27   | Yes |
| 55 | Continue on | 27   | Yes |
| 56 | Left on     | 17 A | Yes |
| 57 | Left on     | Zero | Yes |
| 58 | Left on     | 29   | No  |
| 59 | Continue on | 29   | No  |
| 60 | Continue on | 29   | No  |
| 61 | Continue on | 29   | No  |
| 62 | Continue on | 29   | No  |
| 63 | Continue on | 29   | No  |
| 64 | Right on    | 12   | Yes |
| 65 | Left on     | 31   | No  |
| 66 | Left on     | 14   | Yes |
| 67 | Continue on | 14   | No  |
| 68 | Continue on | 14   | No  |

|     |             |               |     |
|-----|-------------|---------------|-----|
| 69  | Right on    | 25            | No  |
| 70  | Continue on | 25            | Yes |
| 71  | Left on     | 18            | No  |
| 72  | Left on     | 23            | Yes |
| 73  | Right on    | Particular 18 | No  |
| 74  | Right on    | 21            | Yes |
| 75  | Continue on | 21            | Yes |
| 76  | Right on    | 20            | Yes |
| 77  | Continue on | 20            | Yes |
| 78  | Left on     | 25            | Yes |
| 79  | Left on     | 22            | Yes |
| 80  | Continue on | 22            | Yes |
| 81  | Right on    | 21            | No  |
| 82  | Continue on | 21            | Yes |
| 83  | Continue on | 21            | Yes |
| 84  | Continue on | 21            | Yes |
| 85  | Continue on | 21            | Yes |
| 86  | Left on     | 32            | Yes |
| 87  | Continue on | 32            | Yes |
| 88  | Continue on | 32            | Yes |
| 89  | Continue on | 32            | Yes |
| 90  | Left on     | 13            | Yes |
| 91  | Left on     | 30            | Yes |
| 92  | Continue on | 30            | Yes |
| 93  | Right on    | 17            | Yes |
| 94  | Continue on | 17            | Yes |
| 95  | Left on     | 26            | Yes |
| 96  | Left on     | 19            | Yes |
| 97  | Left on     | 28            | Yes |
| 98  | Continue on | 28            | Yes |
| 99  | Continue on | 28            | Yes |
| 100 | Left on     | 13            | Yes |
| 101 | Continue on | 13            | Yes |
| 102 | Left on     | 24            | Yes |
| 103 | Left on     | 15            | Yes |
| 104 | Continue on | 15            | Yes |
| 105 | Continue on | 15            | Yes |
| 106 | Continue on | 15            | Yes |
| 107 | Continue on | 15            | Yes |
| 108 | Continue on | 15            | Yes |
| 109 | Left on     | 36            | Yes |
| 110 | Left on     | José João Dib | No  |
| 111 | Left on     | 34            | Yes |
| 112 | Continue on | 34            | Yes |
| 113 | Right on    | 17            | Yes |
| 114 | Continue on | 17            | Yes |
| 115 | Left on     | 30            | Yes |
| 116 | Left on     | 19            | Yes |
| 117 | Continue on | 19            | Yes |
| 118 | Right on    | 34            | Yes |

|     |             |               |     |
|-----|-------------|---------------|-----|
| 119 | Left on     | 21            | Yes |
| 120 | Left on     | 36            | Yes |
| 121 | Continue on | 36            | Yes |
| 122 | Continue on | 36            | Yes |
| 123 | Continue on | 36            | No  |
| 124 | Right on    | José João Dib | Yes |
| 125 | Right on    | 38            | Yes |
| 126 | Right on    | 17            | Yes |
| 127 | Continue on | 17            | Yes |
| 128 | Left on     | 34            | Yes |
| 129 | Left on     | 19            | Yes |
| 130 | Continue on | 19            | Yes |
| 131 | Right on    | 38            | Yes |
| 132 | Left on     | 19 A          | Yes |
| 133 | Left on     | 40            | No  |
| 134 | Continue on | 40            | No  |
| 135 | Left on     | José João Dib | Yes |
| 136 | Continue on | José João Dib | No  |
| 137 | Left on     | 17            | Yes |
| 138 | Left on     | 38            | Yes |
| 139 | Left on     | 17 ab         | Yes |
| 140 | Right on    | 40            | Yes |
| 141 | Continue on | 40            | Yes |
| 142 | Continue on | 40            | Yes |
| 143 | Left on     | 21            | Yes |
| 144 | Right on    | 42            | Yes |
| 145 | Right on    | 23            | No  |
| 146 | Left on     | 42            | No  |
| 147 | Continue on | 42            | Yes |
| 148 | Left on     | 27            | Yes |
| 149 | Continue on | 27            | Yes |
| 150 | Right on    | Minas Gerais  | Yes |
| 151 | Continue on | Minas Gerais  | No  |
| 152 | Continue on | 29            | Yes |
| 153 | Left on     | 40            | Yes |
| 154 | Right on    | Minas Gerais  | Yes |
| 155 | Continue on | 31            | Yes |
| 156 | Continue on | 31            | Yes |
| 157 | Continue on | 31            | Yes |
| 158 | Continue on | 31            | No  |
| 159 | Continue on | 31            | Yes |
| 160 | Continue on | 31            | Yes |
| 161 | Right on    | 28            | Yes |
| 162 | Continue on | 28            | Yes |
| 163 | Continue on | 28            | No  |
| 164 | Right on    | 25            | Yes |
| 165 | Right on    | 30            | Yes |
| 166 | Right on    | 27            | No  |
| 167 | Right on    | 28            | No  |
| 168 | Continue on | 28            | Yes |

|     |             |              |     |
|-----|-------------|--------------|-----|
| 169 | Continue on | 28           | No  |
| 170 | Continue on | 28           | No  |
| 171 | Left on     | 19           | No  |
| 172 | Continue on | 19           | Yes |
| 173 | Continue on | 19           | Yes |
| 174 | Right on    | 22           | Yes |
| 175 | Continue on | 22           | Yes |
| 176 | Right on    | 15           | Yes |
| 177 | Right on    | 24           | Yes |
| 178 | Continue on | 24           | Yes |
| 179 | Continue on | 24           | Yes |
| 180 | Left on     | 21           | No  |
| 181 | Right on    | 26           | No  |
| 182 | Left on     | 23           | Yes |
| 183 | Left on     | 28           | No  |
| 184 | Continue on | 28           | No  |
| 185 | Right on    | 19           | Yes |
| 186 | Right on    | 30           | Yes |
| 187 | Continue on | 30           | Yes |
| 188 | Continue on | 30           | Yes |
| 189 | Left on     | 25           | Yes |
| 190 | Left on     | 32           | Yes |
| 191 | Right on    | 23           | Yes |
| 192 | Continue on | 23           | Yes |
| 193 | Continue on | 23           | Yes |
| 194 | Right on    | 38           | Yes |
| 195 | Continue on | 38           | Yes |
| 196 | Right on    | 27           | Yes |
| 197 | Right on    | 36           | Yes |
| 198 | Right on    | 25           | Yes |
| 199 | Continue on | 25           | Yes |
| 200 | Left on     | 40           | No  |
| 201 | Continue on | 40           | No  |
| 202 | Continue on | 40           | No  |
| 203 | Left on     | 19 A         | No  |
| 204 | Left on     | 38           | Yes |
| 205 | Continue on | 38           | Yes |
| 206 | Left on     | 23           | Yes |
| 207 | Right on    | 40           | Yes |
| 208 | Left on     | 25           | Yes |
| 209 | Continue on | 25           | No  |
| 210 | Continue on | 25           | Yes |
| 211 | Right on    | 44           | Yes |
| 212 | Right on    | 27           | No  |
| 213 | Continue on | 27           | No  |
| 214 | Left on     | 42           | Yes |
| 215 | Right on    | Minas Gerais | Yes |
| 216 | Continue on | Minas Gerais | Yes |
| 217 | Right on    | 40           | No  |
| 218 | Left on     | 29           | Yes |

---

|     |             |    |     |
|-----|-------------|----|-----|
| 219 | Left on     | 38 | Yes |
| 220 | Right on    | 31 | No  |
| 221 | Right on    | 36 | Yes |
| 222 | Left on     | 29 | Yes |
| 223 | Left on     | 34 | Yes |
| 224 | Right on    | 31 | Yes |
| 225 | Right on    | 32 | Yes |
| 226 | Continue on | 32 | Yes |
| 227 | Left on     | 27 | Yes |
| 228 | Continue on | 27 | Yes |
| 229 | Continue on | 27 | Yes |
| 230 | Left on     | 26 | Yes |
| 231 | Continue on | 26 | Yes |
| 232 | Left on     | 31 | No  |
| 233 | Left on     | 28 | No  |
| 234 | Continue on | 28 | No  |
| 235 | Continue on | 28 | No  |
| 236 | Continue on | 28 | No  |
| 237 | Continue on | 28 | Yes |
| 238 | Continue on | 28 | Yes |
| 239 | Left on     | 19 | No  |
| 240 | Left on     | 26 | Yes |
| 241 | Continue on | 26 | No  |
| 242 | Right on    | 23 | Yes |
| 243 | Continue on | 23 | Yes |
| 244 | Continue on | 23 | Yes |
| 245 | Continue on | 23 | Yes |
| 246 | Right on    | 18 | No  |
| 247 | Right on    | 21 | No  |
| 248 | Continue on | 21 | Yes |
| 249 | Continue on | 21 | Yes |
| 250 | Continue on | 21 | No  |
| 251 | Right on    | 26 | Yes |
| 252 | Continue on | 26 | Yes |
| 253 | Left on     | 25 | Yes |
| 254 | Continue on | 25 | No  |
| 255 | Continue on | 25 | No  |
| 256 | Continue on | 25 | Yes |
| 257 | Right on    | 34 | Yes |
| 258 | Continue on | 34 | Yes |
| 259 | Right on    | 29 | Yes |
| 260 | Continue on | 29 | Yes |
| 261 | Continue on | 29 | Yes |
| 262 | Continue on | 29 | Yes |
| 263 | Continue on | 29 | Yes |
| 264 | Continue on | 29 | Yes |
| 265 | Continue on | 29 | Yes |
| 266 | Continue on | 29 | Yes |
| 267 | Continue on | 29 | Yes |
| 268 | Left on     | 16 | Yes |

|     |             |    |     |
|-----|-------------|----|-----|
| 269 | Left on     | 31 | No  |
| 270 | Left on     | 18 | Yes |
| 271 | Continue on | 18 | Yes |
| 272 | Left on     | 27 | Yes |
| 273 | Continue on | 27 | Yes |
| 274 | Right on    | 14 | No  |
| 275 | Right on    | 25 | Yes |
| 276 | Right on    | 16 | Yes |
| 277 | Continue on | 16 | Yes |
| 278 | Right on    | 29 | Yes |
| 279 | Continue on | 29 | Yes |
| 280 | Continue on | 29 | Yes |
| 281 | Continue on | 29 | Yes |
| 282 | Continue on | 29 | Yes |
| 283 | Continue on | 29 | Yes |
| 284 | Left on     | 4  | Yes |
| 285 | Left on     | 31 | No  |
| 286 | Continue on | 31 | No  |
| 287 | Continue on | 31 | No  |
| 288 | Left on     | 10 | Yes |
| 289 | Continue on | 10 | Yes |
| 290 | Left on     | 27 | Yes |
| 291 | Left on     | 8  | Yes |
| 292 | Continue on | 8  | Yes |
| 293 | Left on     | 31 | No  |
| 294 | Continue on | 31 | No  |
| 295 | Continue on | 31 | No  |
| 296 | Left on     | 14 | No  |
| 297 | Continue on | 14 | No  |
| 298 | Left on     | 27 | Yes |
| 299 | Left on     | 12 | Yes |
| 300 | Left on     | 29 | No  |
| 301 | Left on     | 14 | Yes |
| 302 | Continue on | 14 | Yes |
| 303 | Continue on | 14 | Yes |
| 304 | Left on     | 23 | Yes |
| 305 | Left on     | 12 | Yes |
| 306 | Continue on | 12 | Yes |
| 307 | Right on    | 27 | Yes |
| 308 | Right on    | 10 | Yes |
| 309 | Right on    | 25 | Yes |
| 310 | Continue on | 25 | Yes |
| 311 | Continue on | 25 | No  |
| 312 | Continue on | 25 | No  |
| 313 | Left on     | 18 | No  |
| 314 | Continue on | 18 | No  |
| 315 | Continue on | 18 | Yes |
| 316 | Continue on | 18 | Yes |
| 317 | Left on     | 17 | Yes |
| 318 | Continue on | 17 | Yes |

---

|     |             |     |     |
|-----|-------------|-----|-----|
| 319 | Right on    | 14  | No  |
| 320 | Continue on | 14  | No  |
| 321 | Continue on | 14  | No  |
| 322 | Right on    | 11  | Yes |
| 323 | Continue on | 11  | Yes |
| 324 | Left on     | 18  | Yes |
| 325 | Continue on | 18  | Yes |
| 326 | Right on    | 7   | Yes |
| 327 | Continue on | 7   | Yes |
| 328 | Left on     | 22  | Yes |
| 329 | Right on    | 5 A | Yes |
| 330 | Left on     | 24  | Yes |
| 331 | Continue on | 24  | Yes |
| 332 | Right on    | 9   | Yes |
| 333 | Continue on | 9   | Yes |
| 334 | Continue on | 9   | Yes |
| 335 | Continue on | 9   | Yes |
| 336 | Continue on | 9   | Yes |
| 337 | Right on    | 14  | Yes |
| 338 | Continue on | 14  | No  |
| 339 | Left on     | 5   | No  |
| 340 | Continue on | 5   | No  |
| 341 | Left on     | 12  | Yes |
| 342 | Left on     | 12  | Yes |
| 343 | Left on     | 7   | Yes |
| 344 | Continue on | 7   | Yes |
| 345 | Right on    | 16  | Yes |
| 346 | Continue on | 16  | Yes |
| 347 | Continue on | 16  | Yes |
| 348 | Right on    | 13  | Yes |
| 349 | Right on    | 14  | No  |
| 350 | Continue on | 14  | No  |
| 351 | Continue on | 14  | No  |
| 352 | Continue on | 14  | Yes |
| 353 | Left on     | 5   | No  |
| 354 | Right on    | 3   | No  |
| 355 | Right on    | 3   | Yes |
| 356 | Right on    | 14  | Yes |
| 357 | Continue on | 14  | Yes |
| 358 | Continue on | 14  | Yes |
| 359 | Continue on | 14  | Yes |
| 360 | Continue on | 14  | Yes |

ROUTE 1 : depot Aterro Sanitári shift 2  
 Workload : 5214.11  
 Deadhead Cost : 13730.33  
 # Deadhead Links : 78 (out of 318 links)  
 # Left Turns : 82  
 # Right Turns : 80  
 # U-Turns : 8  
 # straight Turns : 147  
 Turn Penalty Cost: 8000.00

| No.   | Movement       | Street_Name      | Service |
|-------|----------------|------------------|---------|
| ----- |                |                  |         |
| --    |                |                  |         |
| 1     | Start South on | 14               | Yes     |
| 2     | Continue on    | 14               | Yes     |
| 3     | Right on       | 17               | Yes     |
| 4     | Continue on    | 17               | Yes     |
| 5     | Right on       | 12               | No      |
| 6     | U-turn on      | 12               | Yes     |
| 7     | Right on       | 17               | Yes     |
| 8     | U-turn on      | 17               | No      |
| 9     | Right on       | 12               | Yes     |
| 10    | Continue on    | 12               | Yes     |
| 11    | Left on        | 21               | Yes     |
| 12    | Continue on    | 21               | Yes     |
| 13    | Left on        | Tv Nsa Sra Abadi | No      |
| 14    | Left on        | 19               | Yes     |
| 15    | Right on       | 14               | Yes     |
| 16    | Continue on    | 14               | Yes     |
| 17    | Right on       | 17               | No      |
| 18    | Continue on    | 17               | No      |
| 19    | Right on       | 17 A             | Yes     |
| 20    | Right on       | 14               | No      |
| 21    | Right on       | 17               | No      |
| 22    | Left on        | 14               | No      |
| 23    | Right on       | 15               | Yes     |
| 24    | Right on       | 16               | Yes     |
| 25    | Continue on    | 16               | Yes     |
| 26    | Continue on    | 16               | Yes     |
| 27    | Left on        | 21               | Yes     |
| 28    | Right on       | Particular 18    | Yes     |
| 29    | Right on       | 23               | Yes     |
| 30    | Continue on    | 23               | Yes     |
| 31    | Right on       | 14               | Yes     |
| 32    | Continue on    | 14               | Yes     |
| 33    | Continue on    | 14               | No      |
| 34    | Left on        | 17 A             | Yes     |
| 35    | Continue on    | 17 A             | Yes     |
| 36    | Right on       | 10               | Yes     |
| 37    | Right on       | 17               | No      |

|    |             |                  |     |
|----|-------------|------------------|-----|
| 38 | Left on     | 12               | No  |
| 39 | Right on    | 15               | Yes |
| 40 | Left on     | 14               | No  |
| 41 | Continue on | 14               | Yes |
| 42 | Continue on | 14               | Yes |
| 43 | Continue on | 14               | No  |
| 44 | Continue on | 14               | No  |
| 45 | Continue on | 14               | No  |
| 46 | Right on    | 3                | No  |
| 47 | Right on    | 3                | Yes |
| 48 | Continue on | 3                | Yes |
| 49 | Continue on | 3                | No  |
| 50 | Right on    | 20               | Yes |
| 51 | Right on    | 5                | No  |
| 52 | Right on    | 18               | Yes |
| 53 | Continue on | 18               | Yes |
| 54 | Left on     | Jorge Jacob Yune | No  |
| 55 | Continue on | Jorge Jacob Yune | No  |
| 56 | Left on     | 16               | Yes |
| 57 | Continue on | 16               | Yes |
| 58 | Continue on | 16               | Yes |
| 59 | Left on     | 7                | Yes |
| 60 | Left on     | 18               | Yes |
| 61 | Continue on | 18               | No  |
| 62 | Right on    | 3                | Yes |
| 63 | Continue on | 3                | Yes |
| 64 | Left on     | Particular 3     | Yes |
| 65 | Right on    | Jorge Jacob Yune | Yes |
| 66 | Right on    | 3 Rotatória      | No  |
| 67 | Left on     | 3 Rotatória      | No  |
| 68 | Right on    | 24               | Yes |
| 69 | Left on     | Tv São José      | Yes |
| 70 | Right on    | 26               | Yes |
| 71 | Continue on | 26               | No  |
| 72 | Continue on | 26               | Yes |
| 73 | Left on     | 7                | Yes |
| 74 | Left on     | 28               | Yes |
| 75 | Left on     | Travessa         | No  |
| 76 | Left on     | 26               | No  |
| 77 | Left on     | 7                | No  |
| 78 | Continue on | 7                | No  |
| 79 | Left on     | José João Dib    | Yes |
| 80 | Left on     | 5                | Yes |
| 81 | Continue on | 5                | Yes |
| 82 | Left on     | 26               | Yes |
| 83 | Left on     | Travessa         | Yes |
| 84 | Left on     | 28               | Yes |
| 85 | Left on     | 5                | No  |
| 86 | Continue on | 5                | Yes |
| 87 | Left on     | 24               | Yes |

|     |             |                  |     |
|-----|-------------|------------------|-----|
| 88  | Left on     | 5 A              | No  |
| 89  | Right on    | 22               | Yes |
| 90  | Left on     | 5                | No  |
| 91  | Continue on | 5                | Yes |
| 92  | Continue on | 5                | Yes |
| 93  | Continue on | 5                | Yes |
| 94  | Right on    | 14               | No  |
| 95  | Right on    | 3                | No  |
| 96  | Continue on | 3                | Yes |
| 97  | Left on     | 3                | Yes |
| 98  | Left on     | 3                | Yes |
| 99  | Continue on | 5                | No  |
| 100 | U-turn on   | 5                | Yes |
| 101 | Continue on | 5                | Yes |
| 102 | Left on     | 14               | Yes |
| 103 | Right on    | 3                | Yes |
| 104 | Right on    | 3                | No  |
| 105 | Left on     | 16 A             | Yes |
| 106 | Left on     | Jorge Jacob Yune | No  |
| 107 | U-turn on   | Jorge Jacob Yune | Yes |
| 108 | Continue on | Jorge Jacob Yune | Yes |
| 109 | Continue on | Jorge Jacob Yune | Yes |
| 110 | Right on    | Particular 3     | No  |
| 111 | Left on     | 3                | Yes |
| 112 | Right on    | 3 Rotatória      | No  |
| 113 | Left on     | 3 Rotatória      | No  |
| 114 | Right on    | Jorge Jacob Yune | Yes |
| 115 | Continue on | Jorge Jacob Yune | Yes |
| 116 | Right on    | José João Dib    | Yes |
| 117 | Continue on | José João Dib    | Yes |
| 118 | Continue on | José João Dib    | No  |
| 119 | Right on    | 13               | Yes |
| 120 | Right on    | 32               | Yes |
| 121 | Left on     | José João Dib    | No  |
| 122 | Continue on | José João Dib    | No  |
| 123 | Left on     | Jorge Jacob Yune | Yes |
| 124 | Continue on | Jorge Jacob Yune | Yes |
| 125 | U-turn on   | Jorge Jacob Yune | No  |
| 126 | Right on    | 26               | Yes |
| 127 | Right on    | Tv São José      | No  |
| 128 | Left on     | 24               | Yes |
| 129 | Right on    | 5                | Yes |
| 130 | Continue on | 5                | Yes |
| 131 | Left on     | 20               | Yes |
| 132 | Continue on | 20               | Yes |
| 133 | Continue on | 20               | Yes |
| 134 | Continue on | 20               | Yes |
| 135 | Continue on | 20               | Yes |
| 136 | Continue on | 20               | Yes |
| 137 | Left on     | 17               | No  |

|     |             |               |     |
|-----|-------------|---------------|-----|
| 138 | Left on     | 22            | No  |
| 139 | Continue on | 22            | Yes |
| 140 | Left on     | 13            | Yes |
| 141 | Continue on | 13            | Yes |
| 142 | Continue on | 13            | Yes |
| 143 | Left on     | 16            | Yes |
| 144 | Left on     | 15            | Yes |
| 145 | Continue on | 15            | Yes |
| 146 | Left on     | 20            | No  |
| 147 | Right on    | 17            | Yes |
| 148 | Right on    | 18            | Yes |
| 149 | Continue on | 18            | Yes |
| 150 | Continue on | 18            | Yes |
| 151 | Right on    | 11            | Yes |
| 152 | Continue on | 11            | Yes |
| 153 | Continue on | 11            | Yes |
| 154 | Continue on | 11            | Yes |
| 155 | Continue on | 11            | Yes |
| 156 | Continue on | 11            | Yes |
| 157 | Continue on | 11            | Yes |
| 158 | Right on    | José João Dib | Yes |
| 159 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 160 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 161 | Continue on | José João Dib | No  |
| 162 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 163 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 164 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 165 | Right on    | 17 ab         | No  |
| 166 | Left on     | 38            | Yes |
| 167 | Left on     | 19            | Yes |
| 168 | Left on     | 40            | No  |
| 169 | Left on     | José João Dib | No  |
| 170 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 171 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 172 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 173 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 174 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 175 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 176 | Continue on | José João Dib | Yes |
| 177 | Left on     | 30            | Yes |
| 178 | Continue on | 30            | Yes |
| 179 | Continue on | 30            | Yes |
| 180 | Right on    | 13            | Yes |
| 181 | Right on    | 28            | Yes |
| 182 | Continue on | 28            | Yes |
| 183 | Continue on | 28            | Yes |
| 184 | Right on    | 7             | Yes |
| 185 | Right on    | 30            | No  |
| 186 | Right on    | 9             | Yes |
| 187 | Continue on | 9             | Yes |

|     |             |                  |     |
|-----|-------------|------------------|-----|
| 188 | Continue on | 9                | Yes |
| 189 | Left on     | 24               | Yes |
| 190 | Continue on | 24               | Yes |
| 191 | Right on    | 13               | Yes |
| 192 | Right on    | 22               | Yes |
| 193 | Continue on | 22               | Yes |
| 194 | Continue on | 22               | Yes |
| 195 | Right on    | 7                | Yes |
| 196 | Continue on | 7                | Yes |
| 197 | Right on    | 26               | Yes |
| 198 | Continue on | 26               | Yes |
| 199 | Continue on | 26               | Yes |
| 200 | Continue on | 26               | Yes |
| 201 | Continue on | 26               | Yes |
| 202 | Right on    | 17               | Yes |
| 203 | Continue on | 17               | Yes |
| 204 | Continue on | 17               | Yes |
| 205 | Left on     | 20               | Yes |
| 206 | Continue on | 20               | Yes |
| 207 | Left on     | 21               | No  |
| 208 | Left on     | 22               | Yes |
| 209 | Left on     | 19               | Yes |
| 210 | Continue on | 19               | Yes |
| 211 | Continue on | 19               | Yes |
| 212 | Continue on | 19               | Yes |
| 213 | Left on     | Tv Nsa Sra Abadi | Yes |
| 214 | Left on     | 21               | Yes |
| 215 | Right on    | 16               | Yes |
| 216 | Continue on | 16               | Yes |
| 217 | Left on     | 25               | No  |
| 218 | Continue on | 25               | Yes |
| 219 | Right on    | 20               | Yes |
| 220 | Right on    | 27               | Yes |
| 221 | Right on    | 18               | Yes |
| 222 | Continue on | 18               | Yes |
| 223 | Continue on | 18               | Yes |
| 224 | Right on    | 21               | No  |
| 225 | Continue on | 21               | No  |
| 226 | Continue on | 21               | No  |
| 227 | Right on    | 24               | Yes |
| 228 | Continue on | 24               | Yes |
| 229 | Left on     | 25               | Yes |
| 230 | Right on    | 26               | Yes |
| 231 | Right on    | 27               | Yes |
| 232 | Continue on | 27               | Yes |
| 233 | Continue on | 27               | Yes |
| 234 | Left on     | 20               | Yes |
| 235 | Continue on | 20               | Yes |
| 236 | Left on     | 31               | No  |
| 237 | Left on     | 22               | Yes |

---

|     |             |      |     |
|-----|-------------|------|-----|
| 238 | Continue on | 22   | Yes |
| 239 | Continue on | 22   | Yes |
| 240 | Right on    | 25   | Yes |
| 241 | Right on    | 24   | Yes |
| 242 | Continue on | 24   | Yes |
| 243 | Continue on | 24   | Yes |
| 244 | Left on     | 31   | No  |
| 245 | Continue on | 31   | No  |
| 246 | Left on     | 28   | No  |
| 247 | Continue on | 28   | No  |
| 248 | Continue on | 28   | Yes |
| 249 | Continue on | 28   | No  |
| 250 | Right on    | 23   | Yes |
| 251 | Continue on | 23   | Yes |
| 252 | Left on     | 32   | Yes |
| 253 | Right on    | 21   | Yes |
| 254 | Right on    | 34   | Yes |
| 255 | Continue on | 34   | Yes |
| 256 | Left on     | 25   | Yes |
| 257 | Left on     | 36   | Yes |
| 258 | Continue on | 36   | Yes |
| 259 | Right on    | 21   | Yes |
| 260 | Continue on | 21   | Yes |
| 261 | Right on    | 40   | Yes |
| 262 | Left on     | 23   | Yes |
| 263 | Continue on | 23   | Yes |
| 264 | U-turn on   | 23   | No  |
| 265 | Left on     | 42   | Yes |
| 266 | Left on     | 25   | Yes |
| 267 | Right on    | 42 A | Yes |
| 268 | Right on    | 27   | No  |
| 269 | Continue on | 27   | Yes |
| 270 | Left on     | 38   | Yes |
| 271 | Right on    | 29   | Yes |
| 272 | Right on    | 36   | Yes |
| 273 | Left on     | 27   | Yes |
| 274 | Continue on | 27   | Yes |
| 275 | Continue on | 27   | No  |
| 276 | Left on     | 30   | Yes |
| 277 | Continue on | 30   | Yes |
| 278 | Right on    | 31   | No  |
| 279 | Continue on | 31   | Yes |
| 280 | Continue on | 31   | Yes |
| 281 | Continue on | 31   | Yes |
| 282 | Continue on | 31   | Yes |
| 283 | Continue on | 31   | Yes |
| 284 | Continue on | 31   | Yes |
| 285 | Continue on | 31   | Yes |
| 286 | Continue on | 31   | Yes |
| 287 | Continue on | 31   | Yes |

---

|     |             |                  |     |
|-----|-------------|------------------|-----|
| 288 | Continue on | 31               | Yes |
| 289 | Continue on | 31               | Yes |
| 290 | Continue on | 31               | Yes |
| 291 | Continue on | 31               | Yes |
| 292 | Continue on | 31               | No  |
| 293 | U-turn on   | 31               | No  |
| 294 | Continue on | 31               | No  |
| 295 | Continue on | 31               | No  |
| 296 | Left on     | 6                | Yes |
| 297 | Continue on | 6                | Yes |
| 298 | Continue on | 6                | Yes |
| 299 | Right on    | 25               | Yes |
| 300 | Continue on | 25               | Yes |
| 301 | Left on     | 10               | Yes |
| 302 | Left on     | 23               | Yes |
| 303 | Left on     | 8                | Yes |
| 304 | Continue on | 8                | Yes |
| 305 | Right on    | 27               | Yes |
| 306 | Continue on | 27               | Yes |
| 307 | Left on     | 4                | Yes |
| 308 | Right on    | 29               | Yes |
| 309 | Continue on | 29               | Yes |
| 310 | Left on     | Zero             | Yes |
| 311 | Left on     | 31               | No  |
| 312 | U-turn on   | 31               | Yes |
| 313 | Continue on | 31               | No  |
| 314 | Left on     | Monte Alegre     | No  |
| 315 | Right on    | Napoleão Faissol | No  |
| 316 | Continue on | Napoleão Faissol | No  |
| 317 | Continue on | Napoleao Faissol | No  |
| 318 | Continue on | Napoleão Faissol | No  |