

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

JANINE PEREIRA JACINTO

**PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA PARA
MELHOR APROVEITAMENTO DA FROTA E DA
EQUIPE DE PESSOAL UTILIZADAS NA COLETA DE
RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES**

VITÓRIA-ES

2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

JANINE PEREIRA JACINTO

PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA PARA
MELHOR APROVEITAMENTO DA FROTA E DA
EQUIPE DE PESSOAL UTILIZADAS NA COLETA DE
RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES.

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Área de Concentração em Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa

Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marta Monteiro da Costa Cruz

VITÓRIA-ES

2009

JANINE PEREIRA JACINTO

**PROPOSTA DE UMA METODOLOGIA PARA MELHOR
APROVEITAMENTO DA FROTA E DA EQUIPE DE PESSOAL UTILIZADAS
NA COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil na área de concentração Transportes.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa
Universidade Federal do Espírito Santo
Instituto Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof^a. Dra. Marta Monteiro da Costa Cruz
Universidade Federal do Espírito Santo
Co-Orientadora

Prof. Dra. Liana Almeida de Figueiredo
Faculdade Espírito Santense de Administração
Examinador Externo

Prof^a. PhD. Vânia Barcellos Gouvêa Campos
Instituto Militar de Engenharia - RJ
Examinador Externo

Ao meu esposo Fabiano por todo apoio, amor e carinho.
Pelos cuidados com nossa filha Isabella Morena nos meus momentos de
concentração total nesses últimos anos.
À minha mãe pela grande preocupação com os meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que tanto tem me abençoado, guiando meus passos e me mostrando como erguer a cabeça quando não aguento mais caminhar.

Ao meu querido marido Fabiano por acreditar em mim, por permitir que mais um sonho em minha vida virasse realidade e que mesmo nos nossos momentos mais difíceis, não me deixou desanimar.

A minha filha querida Isabella Morena, que mesmo sem saber o que sua mãe fazia, se deitava ao meu lado e ficava me olhando estudar com todas as suas perguntinhas carinhosas e inteligentes.

À minha família, minha mãe, meu irmão, e principalmente, a minha querida tia Dilméia, que sempre foi uma grande incentivadora dos meus estudos.

Ao Prof. Átila, que sempre me incentivou para o estudo e para a docência, com quem muito aprendi.

A direção da Faculdade UNIVIX e aos meus colegas de trabalho que me ensinaram que o estudo é a melhor forma de crescimento intelectual e, principalmente, ao Prof. Alexandre, as Prof^a Virginia, Claudimara e Edilene e a querida Dany.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa, pessoa extraordinária, a quem devo muito pela forma de me ensinar a estudar durante as orientações, confiança, amizade e, principalmente, pela paciência.

A minha co-orientadora Prof^a. Dra. Marta Monteiro da Costa Cruz por suas contribuições.

À Marca Ambiental, em especial ao Humberto Ferreira Martins pela disponibilidade de informações para o estudo.

À Christiany Loss Rigo pelos conselhos, companheirismo, amizade e por me ensinar a ter disciplina para os estudos.

À Andrea Breciani pela disponibilidade e paciência.

Aos professores Eliana e Calmon, que auxiliaram na formação de um pensamento científico.

Aos colegas Sidney, André e Arthur do Laboratório do Núcleo de Logística e Transporte da Universidade Federal do Espírito Santo pelo apoio, ajuda e paciência todas as vezes que eu me estressava com o software TransCAD.

Aos colegas de mestrado, Michel, Mardel, Rose e Paulo, pela troca de conhecimentos e amizade.

À CAPES pelo apoio financeiro por meio da concessão de uma bolsa de mestrado.

E a todas as pessoas que direta ou indiretamente impulsionaram a realização desse trabalho.

Obrigada a todos de coração!

RESUMO

O rápido crescimento da população mundial concentrada, principalmente, nos grandes centros urbanos, gera um aumento da concentração populacional e mudanças no modo de vida acarretando a geração crescente de resíduos sólidos domiciliares, que está diretamente ligada ao crescimento populacional. Por isso é necessário que exista uma política adequada nas cidades para a coleta e o manejo dos resíduos. Todos os dias toneladas de resíduos sólidos são geradas nos domicílios e cabe a administração pública de cada cidade ter mecanismos para que o lixo seja coletado, transportado e destinado, pois a coleta e o manejo inadequados provocam problemas tanto ambientais, quanto sociais e de saúde. O presente trabalho tem como objetivo o planejamento da coleta de resíduos sólidos domiciliares por meio de uma metodologia que propõe o melhor aproveitamento da capacidade dos veículos e da disponibilidade da equipe que trabalha junto a cada caminhão quando a rota termina antes que o tempo de jornada de trabalho tenha terminado. A aplicação prática será na coleta do lixo domiciliar do município de Cariacica, baseando-se no Problema de Roteirização em Arcos e no Problema do Carteiro Chinês Capacitado. A metodologia proposta é dividida em três etapas: 1) a geração das rotas; 2) análise dos caminhões que cumpriram a carga horária de trabalho referente a um turno de escala de pessoal e, portanto, não podem mais ser utilizados; 3) análise dos caminhões que atingiram sua capacidade máxima, mas ainda possuem tempo disponível para continuar em outros roteiros. Foram gerados sete turnos de atendimento a partir dos critérios descritos e os parâmetros analisados em cada turno foram: volume médio de lixo coletado, tempo médio gasto para a coleta de lixo domiciliar e número médio de passagens por logradouro sem atendimento. Finalizando o trabalho, foram feitas as análises de todos os resultados obtidos com a metodologia proposta.

Palavra-chave: Roteirização em arcos, logística, transporte, resíduos sólidos domiciliares.

ABSTRACT

The rapid growth of world population concentrated mainly in large urban centers produces an increase in population density and changes in lifestyle resulting in a growing generation of solid waste, which is directly linked to population growth. So there must be an appropriate policy in the cities for the collection and management of waste. Every day tons of solid waste are generated in households and the government in each city have to have mechanisms to collect, transport the garbage. The inadequate management of the garbage causes environmental, social and health problems for the population. This study aims to plan the collection of solid waste through a methodology that offers the best use of vehicle capacity and the availability of the team that works closely with each truck when the path ends before the time shift work is finished. The practical application is the collection of household waste in the city of Cariacica, based on the Arc Routing Problem and the Capacitated Chinese Postman Problem. The proposed methodology is divided into three stages: 1) the generation of routes, 2) analysis of the trucks who have completed the hours of work for a shift of nursing personnel and therefore can no longer be used, 3) analysis of trucks that reached its maximum capacity, but still have time available to continue in other scripts. It was generated seven shifts from the criteria described and the parameters analyzed in each round were: average volume of garbage collected, the average time spent for garbage collectors and average number of passes per street unattended. Finishing the work, carried out the analysis of all results obtained with the proposed methodology and it is suggested some future work.

Key-words: Arc Routing, logistics, transport, domestic solid waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tela do TransCAD – rotina <i>Arc Routing</i>	27
Figura 2. Tela do TransCAD – Definição dos parâmetros usados na rotina <i>Arc Routing</i>	28
Figura 3. Tela do TransCAD onde é inserida a capacidade máxima do veículo – rotina <i>Arc Routing</i>	28
Figura 4. Representação de um grafo.....	29
Figura 5. Grafo não conexo ou desconexo.	31
Figura 6. As sete pontes de Königsberg.	37
Figura 7. Distribuição percentual dos domicílios particulares permanentes segundo a destinação dada ao lixo que produzem.	52
Figura 8. Caminhão modelo ATEGO.....	53
Figura 9. Algoritmo da Heurística proposta.....	57
Figura 10. Tempos TGDPL e TGRULD.	62
Figura 11. Resultados da tabela gerada pelo TransCAD que informa a carga coletada e tco.	63
Figura 12. Cálculo do tempo tco pelo TransCAD feito 2ª fase para complementar os turnos.....	65
Figura 13. Volume médio de lixo domiciliar coletado em cada grupo.....	91
Figura 14. Tempo médio gasto para a coleta de lixo domiciliar coletado em cada grupo.....	92
Figura 15. Número médio de logradouros já atendidos que fazem parte das rotas...	93
Figura 16. Rotas resultantes para atendimento no 1º turno segundo a metodologia proposta.	105
Figura 17. Rotas resultantes para atendimento no 2º turno segundo a metodologia proposta.	106
Figura 18. Rotas resultantes para atendimento no 3º turno segundo a metodologia proposta.	107
Figura 19. Rotas resultantes para atendimento no 4º turno segundo a metodologia proposta.	108
Figura 20. Rotas resultantes para atendimento no 5º turno segundo a metodologia proposta.	109

Figura 21. Rotas resultantes para atendimento no 6º turno segundo a metodologia proposta.	110
Figura 22. Rotas resultantes para atendimento no 7º turno segundo a metodologia proposta.	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados das rotas geradas para o GRUPO 1 – 1ª fase.....	67
Tabela 2. Rotas selecionadas para complementar o GRUPO 1 – 2ª fase.....	68
Tabela 3. Resultado do atendimento a ser feito pelos caminhões e suas equipes ao GRUPO 1.....	69
Tabela 4. Aproveitamento das equipes e dos caminhões no GRUPO 1 após a interferência.....	71
Tabela 5. Resultados das rotas geradas para o GRUPO 2 – 1ª fase.....	72
Tabela 6. Rotas selecionadas para complementar o GRUPO 2 – 2ª fase.....	73
Tabela 7. Resultado do atendimento a ser feito pelos caminhões e suas equipes ao GRUPO 2.....	73
Tabela 8. Aproveitamento das equipes e dos caminhões no GRUPO 2.....	74
Tabela 9. Resultados das rotas geradas para o GRUPO 3 – 1ª fase.....	75
Tabela 10. Rotas selecionadas para complementar o GRUPO 3 – 2ª fase.....	76
Tabela 11. Resultado do atendimento a ser feito pelos caminhões e suas equipes ao GRUPO 3.....	76
Tabela 12. Aproveitamento das equipes e dos caminhões no GRUPO 3 após a interferência.....	77
Tabela 13. Resultados das rotas geradas para o GRUPO 4 – 1ª fase.....	78
Tabela 14. Rotas selecionadas para complementar o GRUPO 4 – 2ª fase.....	79
Tabela 15. Resultado do atendimento a ser feito pelos caminhões e suas equipes ao GRUPO 4.....	79
Tabela 16. Aproveitamento das equipes e dos caminhões no GRUPO 4 após a interferência.....	80
Tabela 17. Resultados das rotas geradas para o GRUPO 5 – 1ª fase.....	81
Tabela 18. Rotas selecionadas para complementar o GRUPO 5 – 2ª fase.....	82
Tabela 19. Resultado do atendimento a ser feito pelos caminhões e suas equipes ao GRUPO 5.....	82
Tabela 20. Aproveitamento das equipes e dos caminhões no GRUPO 5 após a interferência.....	83
Tabela 21. Resultados das rotas geradas para o GRUPO 6 – 1ª fase.....	84
Tabela 22. Rotas selecionadas para complementar o GRUPO 6 – 2ª fase.....	84

Tabela 23. Resultado do atendimento a ser feito pelos caminhões e suas equipes ao GRUPO 6.....	85
Tabela 24. Aproveitamento das equipes e dos caminhões no GRUPO 6 após a interferência.....	86
Tabela 25. Resultado das rotas geradas para o GRUPO 7 – 1ª fase.....	87
Tabela 26. Aproveitamento das equipes e dos caminhões no GRUPO 7 após a interferência.....	88
Tabela 27. Distribuição do atendimento aos Grupos de acordo com o dia da semana.....	89
Tabela 28. Volume de lixo coletado por Grupo diariamente e semanalmente em toneladas.....	90
Tabela 29. Resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta.....	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ARP - Arc Routing Problem

CARP - Capacitated Arc Routing Problem

CCPP - Capacitated Chinese Postman Problem

CEET - Comissão de Estudo Especial Temporária de Resíduos Sólidos

CPP - Chinese Postman Problem

DCARP - Directed Capacitated Arc Routing Problem

GEOBASES - Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo

GIS - Geographic Information Systems

GPS - Global Positioning System

GRASP - Greedy Randomized Adaptive Search Procedure

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IJSN - Instituto Jones dos Santos Neves

MCPP - Mixed Chinese Postman Problem

NBR - Norma Brasileira

PNAD - Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílio

PRV - Problema de Roteirização de Veículos

RPP - Rural Postman Problem

SCOLDSS - Sistema de Apoio à Decisão Aplicado ao Planejamento Operacional da Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SIGT-T - Sistema de Informação Geográfica para Transporte

TCO - Tempo de coleta

TCOC - Tempo de coleta disponível a ser utilizado por uma equipe para complementar o turno de trabalho fazendo uma segunda viagem

TGDPL - Tempo gasto para ir do depósito/garagem até o primeiro logradouro a ser atendido na rota

TGRULD - Tempo gasto para retornar do último logradouro a ser atendido na rota até o depósito/garagem

TMDC - Tempo gasto para descarregar o caminhão

TSP - Traveling Saleman Problem

TTE - Tempo total da equipe

SUMÁRIO

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO	18
1.1. JUSTIFICATIVA	20
1.2. OBJETIVOS	21
1.2.1. Objetivo Geral	21
1.2.2. Objetivos Específicos	21
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	21
Capítulo 2 - REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1. A COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES	23
2.2. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA TRANSPORTES	25
2.3. TEORIA DE GRAFOS	29
2.4. ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS	31
2.4.1. A importância da Roteirização de Veículos	33
2.4.2. Classificação dos Problemas de Roteirização de Veículos	33
2.4.3. Problemas de Roteirização em Nós	35
2.4.4. Problemas de Roteirização em Arcos	36
2.4.5. A Roteirização de Veículos de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares	38
2.5. O PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO EM ARCOS CAPACITADOS	39
2.5.1. A Classificação do CARP	39
2.5.2. O Problema do Carteiro Chinês Capacitado (CCPP)	41
2.6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	43
Capítulo 3 – DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	50
Capítulo 4 – PROPOSTA DA METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO	56
4.1. DESCRIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA	57
Capítulo 5 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	62
5.1. DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DA METODOLOGIA PROPOSTA	66

5.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	90
Capítulo 6 – CONCLUSÕES.....	95
6.1. TRABALHOS FUTUROS.....	96
REFERÊNCIAS.....	97
APÊNDICE A – ROTAS RESULTANTES EM CADA GRUPO APÓS A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	104

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO

Muitas são as questões advindas do rápido crescimento da população mundial concentrada, principalmente, nos grandes centros urbanos. O aumento da concentração populacional interfere diretamente nas mudanças no modo de vida e esses fatores devem ser considerados quando falamos de questões sociais, ambientais e de hábitos saudáveis.

A geração crescente de resíduos sólidos domiciliares está diretamente ligada ao crescimento populacional. Sendo assim, é necessário que existam políticas públicas adequadas em cada cidade voltadas para a coleta, o transporte e o manejo dos resíduos.

As toneladas de resíduos sólidos geradas nos domicílios diariamente devem receber tratamento adequado para que não causem danos ambientais, sociais e de saúde e, cabe a administração pública de cada cidade ter mecanismos para que o lixo seja coletado, transportado e destinado adequadamente.

Segundo Castro (2006), 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.

Ainda segundo Castro (2006), 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 deteriorização da qualidade de vida em especial nos países em desenvolvimento.

Para Lacerda (2003), do ponto de vista sanitário e ambiental, é importante garantir um atendimento adequado com o serviço de coleta regular, pois dessa forma, minimizam-se os efeitos negativos de um serviço deficiente, que se traduz no

acúmulo indesejável de resíduos nas vias públicas, no lançamento de resíduos em lotes vagos e cursos d'água e na queima de resíduos em fundos de quintal.

Por outro lado, economias com os serviços de varrição e com a remoção periódica de lixo lançado em locais inadequados podem ser significativamente reduzidas quando a prestação dos serviços de coleta de lixo é feita com frequência regular. A grande questão é que a operação de coleta de lixo absorve uma considerável fatia dos recursos financeiros/municipais destinados à limpeza urbana (LACERDA, 2003).

A literatura nos diz que o estabelecimento de setores de coleta de lixo e de roteiros para os veículos de coleta tem sido feito empiricamente em vários municípios brasileiros. No município de Cariacica-ES não é diferente. Os setores e as rotas foram estabelecidos de acordo com a experiência adquirida pelos integrantes da equipe responsável pelo serviço desde 1992, quando a empresa Marca Construtora foi contratada para realizar a coleta de lixo domiciliar no município.

O problema em construir itinerários baseando-se nas experiências dos profissionais envolvidos é que se torna difícil avaliar a eficiência desses roteiros, devido a falta de uma metodologia que analise as variáveis envolvidas, que descreva o trabalho e, conseqüentemente, compare com situações já aplicadas ao tratamento do problema de coleta.

Quando as rotas são propostas para atender a demanda de coleta de lixo domiciliar, inúmeros são os problemas que podem ser encontrados relacionados a frota de veículos, às equipes, ao trânsito, entre outras.

Um dos problemas que merece ser analisado é quando em um roteiro proposto a equipe realiza a coleta de lixo em um tempo menor do que sua jornada de trabalho. Isto implica em ter um veículo ocioso por um determinado intervalo de tempo e que poderia ser reaproveitado para atender a um outro grupo de logradouros, fazendo com a equipe seja também aproveitada em toda a sua disponibilidade de horas.

1.1. JUSTIFICATIVA

Atentando-se para o crescimento da população rápido e para a destinação irregular dada ao lixo retirado dos domicílios, surge a necessidade de buscar meios para atender melhor as cidades no que se refere à coleta de lixo domiciliar, oferecendo a população uma maior constância no recolhimento desses resíduos.

Segundo Costa (2008), no Brasil são geradas 170 mil toneladas de lixo diariamente. Só para exemplificar a cidade de São Paulo no ano de 2008 tinha a produção diária estimada em 15 mil toneladas e preparava-se para uma nova fase investindo pesado em infra-estrutura e logística.

A coleta na cidade é feita sob o regime de concessão a uma empresa que recebe pelo serviço prestado e não mais por tonelada de lixo coletada. Assim, a empresa busca investir em estrutura e procura diminuir os custos logísticos, justificando que vale a pena investir em equipamentos, em metodologias de redução de gastos e em questões de remodelagem do serviço prestado (COSTA, 2008).

Visando atender melhor a população dos municípios e aperfeiçoar os serviços prestados nos aspectos de qualidade, custos, proteção à saúde, este trabalho visa apresentar uma metodologia para um melhor planejamento da coleta de resíduos sólidos domiciliares no intuito de melhorar o processo logístico empregado, por meio do reaproveitamento dos veículos em função da disponibilidade de tempo das equipes de trabalho envolvidas.

Conforme descrito anteriormente o reaproveitamento de veículos evita que uma equipe fique com tempo ocioso quando o cumprimento do itinerário acontece antes do término da jornada de trabalho. Além disso, pode aumentar o número de logradouros atendidos e, conseqüentemente, diminuir o volume de lixo exposto diariamente pela população nos municípios que afeta diretamente o meio ambiente.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Desenvolver uma metodologia baseada no problema de roteirização em arcos capacitados para geração de rotas sobre uma base georeferenciada a fim de melhor aproveitar a capacidade do veículo e o tempo disponível de trabalho a cada escala das equipes.

1.2.2. Objetivos Específicos

Como objetivos específicos do trabalho, pretendem-se:

- Estudar os Problemas de Roteirização em Arcos (Arc Routing Problems), mais especificamente o Problema de Roteirização em Arcos Capacitados (*Capacitated Arc Routing Problem – CARP*) e o Problema do Carteiro Chinês Capacitado (*Capacitated Chinese Postman Problem – CCPP*).
- Analisar a aplicabilidade do algoritmo do Problema do Carteiro Chinês para apoio à coleta de resíduos sólidos domiciliares;
- Analisar e compreender a utilidade de uma ferramenta SIG-T;
- Elaborar um estudo para auxiliar a empresa a dimensionar a frota e melhorar as rotas dos veículos que realizam a coleta e o transporte de resíduos sólidos domiciliares no município de Cariacica–ES.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho é dividido em oito capítulos, iniciando-se com esta Introdução. O Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura sobre Resíduos Sólidos, Sistemas de Informações Geográficas e Roteirização de Veículos.

O Capítulo 3 contextualiza o problema da coleta de resíduos sólidos domiciliares, por meio da rotina empregada para a realização do serviço no município escolhido

para aplicação da metodologia e mostra a necessidade de se ter um planejamento do serviço a ser prestado a população.

O Capítulo 4 descreve a metodologia proposta para resolução do problema a partir do problema do Carteiro Chinês Capacitado (Capacitated Chinese Postman Problem - CCPP).

O Capítulo 5 apresenta a aplicação da metodologia e os resultados da heurística proposta e a análise dos resultados. As conclusões e as recomendações para trabalhos futuros estão no Capítulo 6. Para finalizar, o último capítulo traz as referências utilizadas ao longo desta dissertação.

Capítulo 2 - REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

Considerando a crescente preocupação da sociedade com relação às questões ambientais e ao desenvolvimento sustentável, a ABNT criou a Comissão de Estudo Especial Temporária de Resíduos Sólidos – CEET-00.01.34, para revisar a ABNT NBR 10004:1987 – Resíduos Sólidos – Classificação, visando aperfeiçoá-la e, desta forma, fornecer subsídios para o gerenciamento de resíduos sólidos (ABNT, 2004).

A norma brasileira NBR – 10004, de 1987 assim define resíduos sólidos:

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

A classificação dos resíduos sólidos é feita de acordo com sua origem, seus constituintes e suas características, comparados com listagens de resíduos e substâncias que possuem impacto conhecido tanto para a saúde quanto ao ambiente. São divididos em duas classes:

1. **Resíduos classe I – Perigosos:** apresentam características de toxicidade, corrosividade, reatividade, inflamabilidade, patogenicidade ou explosividade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental.
2. **Resíduos classe II – Não perigoso:** Os resíduos sólidos não perigosos se subdividem em:
 - a) Resíduos classe IIA - não inertes: aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos ou de Resíduos Classe II B - Inertes, nos termos desta lei, podendo apresentar propriedades tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

- b) Resíduos classe IIB - inertes: não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, vigentes, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

Segundo a norma brasileira NBR – 13463, de 1995 – Coleta de resíduos sólidos, a classificação é a seguinte:

- a) **Regular:** coleta de resíduos sólidos executada em intervalos determinados. Pode ser domiciliar, de resíduos de feiras, praias e calçadões, de varredura, de resíduos dos serviços de saúde.
- b) **Especial:** destinada a remover e transportar resíduos não recolhidos na coleta regular, devido as suas características próprias, tais como: origem, volume, peso e quantidade. Exemplo: móveis velhos, entulhos, animais mortos, etc.
- c) **Seletiva:** coleta que remove os resíduos previamente separados pelo gerador, tais como: papéis, latas, vidros e outros.
- d) **Particular:** coleta de qualquer tipo de resíduos sólido urbano pela qual pessoas físicas ou empresas, individualmente ou em grupos limitados, executam-na ou pagam a terceiros para executá-lo. Estão incluídos neste tipo a coleta de resíduos industriais, comerciais e em condomínios.

Este trabalho aborda a coleta de resíduos sólidos domiciliares, que assim é definida pela norma brasileira NBR – 12980, de 1993:

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

Até poucos anos, os resíduos sólidos domiciliares eram considerados como de pequeno risco para o ambiente. No entanto, com a introdução de novos produtos na vida moderna, considera-se que os resíduos sólidos domiciliares representam uma ameaça à integridade do ambiente e contêm itens que podem ser classificados como perigosos (FERREIRA, 2000).

Para Zanta e Ferreira (2003), o acondicionamento dos resíduos sólidos em geral, deve ser compatível com suas características para que seja facilitada a identificação,

possibilitando assim um manuseio seguro dos resíduos, durante as etapas de coleta, transporte e armazenamento. A coleta e o transporte consistem nas operações de remoção e transferência dos resíduos urbanos para um local de armazenamento e destinação final.

Para isso, a coleta dos resíduos sólidos domiciliares é feita de forma regular, conforme visto nas classificações feitas anteriormente é realizada, em geral, no sistema porta a porta com veículos coletores apropriados ou, em áreas de difícil acesso, por meio de pontos de coleta onde são colocados contêineres basculantes ou intercambiáveis (ZANTA e FERREIRA, 2003).

Ainda segundo Zanta e Ferreira (2003), o dimensionamento da frota de veículos coletores empregados para o transporte deve ser estabelecido com base nas características dos resíduos a serem coletados e da área de coleta. Vários tipos de veículos coletores podem ser utilizados, como caminhões compactadores, basculantes, com carroceria de madeira aberta, entre outros.

2.2. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA TRANSPORTES

A função básica de um SIG é integrar numa única base de dados informações espaciais provenientes de dados cartográficos, imagens de satélites, dados de censo, de cadastros urbano e rural, entre outros, recuperando e combinando informações de forma que seja possível fazer várias análises.

Segundo Galvão *et et* (1997), os Sistemas de Informação Geográfica foram criados para tratar dados referenciados espacialmente. Estes sistemas manipulam dados obtidos em fontes tais como mapas e imagens de satélites, entre outras, recuperando e combinando informações e permitindo vários tipos de análise. Os SIG's têm sido usados com frequência crescente em diversas áreas tais como análise e monitoramento do meio ambiente, planejamento urbano e regional, estudo de recursos naturais, controle de redes de transporte, distribuição de energia.

Os SIG's têm uma larga aplicação ao transporte. Os analistas de transporte e tomadores de decisões estão usando ferramentas de SIG para planejamento, projeção e administração de infra-estruturas, planejamento e operacionalização do transporte público, controle e análise de tráfego, análise de segurança de transporte, avaliação de impactos ambiental e administração de sistemas de logística. (MILLER e SHAW, 2001).

A integração de algoritmos para criação de rotas ao um SIG-T é chamado de roteirizador. Um software com esta integração é capaz de definir melhores roteiros segundo a variável que se deseja otimizar – distância ou tempo de viagem. Além dessas características, ainda é possível um mapeamento da região em estudo e, conseqüentemente, gerar diferentes roteiros analisando diversos cenários.

Atualmente, no Brasil são comercializados diversos roteirizadores, que segundo Filho (2001) são sistemas computacionais capazes de obter soluções para problemas de roteirização e programação de veículos com resultados satisfatórios, consumindo tempo e esforço de processamento relativamente pequenos quando comparados aos gastos nos tradicionais métodos manuais.

O TransCAD é um dos SIG-T disponíveis no mercado que pode ser usado para criar e customizar mapas, construir e manter conjuntos de dados geográficos para fazer diferentes tipos de análises espaciais. O TransCAD inclui dados para transporte como: redes de transporte; matrizes; rotas e sistemas de rotas; dados linearmente referenciados. Suas funções de SIG podem ser usadas para preparar visualizações, analisar e apresentar o trabalho e os demais módulos podem ser usados para resolver problemas de roteamento e logística (LOGIT, 2008).

O TransCAD possui uma rotina chamada *Arc Routing* (Figura 1), que permite tratar o problema de roteirização dos veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares. Essa rotina utiliza a heurística do Problema do Carteiro Chinês Misto, sugerida por Edmonds e Johnson (1973), melhorada por Frederickson (1979) e Christofides et al. (1983), e também usada por Gendreau, Laporte & Zhao no Windy Postman Problem, em roteamento de arcos (MELO, 2001).

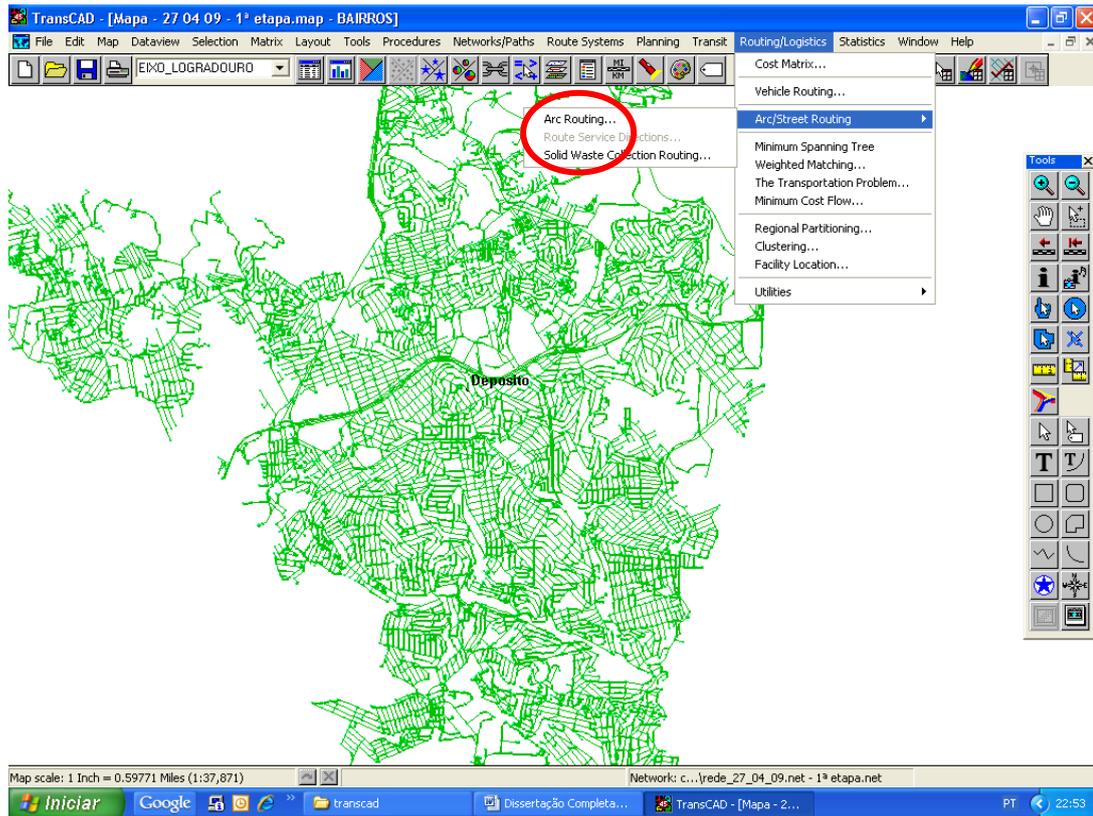


Figura 1. Tela do TransCAD – rotina *Arc Routing*.

Essa heurística tem como objetivo minimizar a distância total percorrida pelo veículo de um determinado ponto inicial (garagem/depósito) da rota até seu ponto final (garagem/depósito) percorrendo todos os logradouros com demanda de coleta de lixo, passando o menor número de vezes possível nos mesmos logradouros (NOVAES, 1989).

Por meio da rotina *Arc Routing* o TransCAD é possível criar rotas para o recolhimento dos resíduos sólidos domiciliares utilizando a capacidade máxima do veículo e obter os itinerários de cada rota, conforme mostram as Figura 2 e Figura 3.

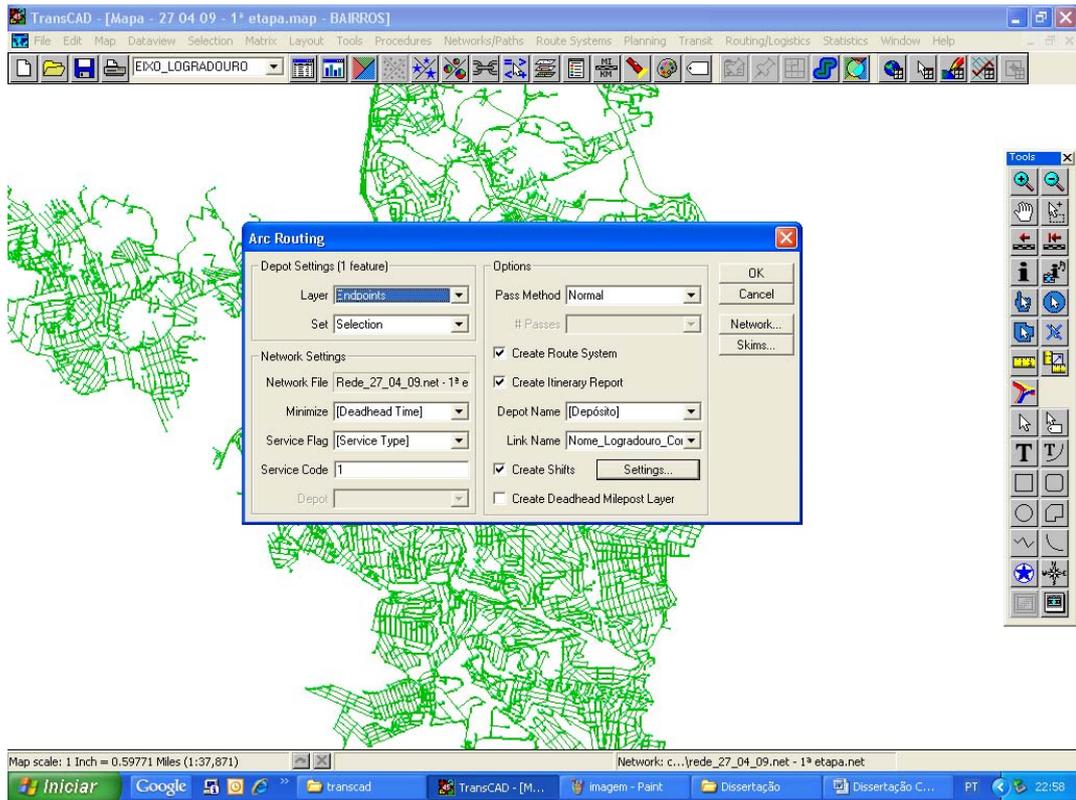


Figura 2. Tela do TransCAD – Definição dos parâmetros usados na rotina *Arc Routing*.

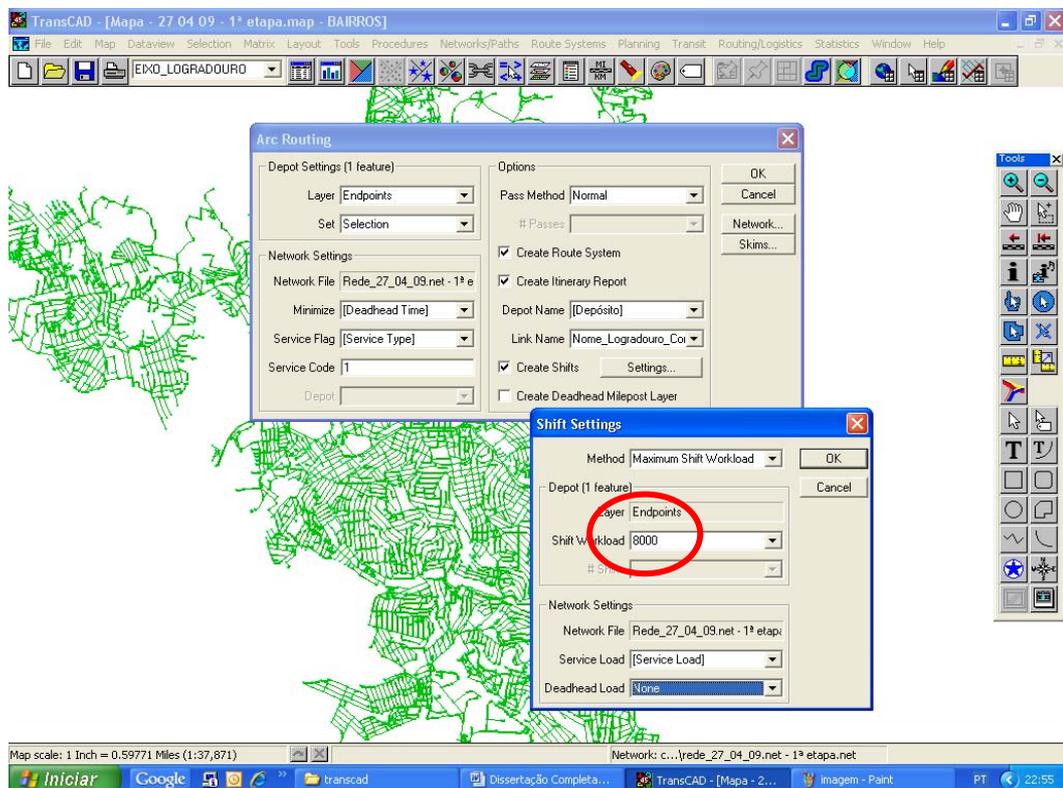


Figura 3. Tela do TransCAD onde é inserida a capacidade máxima do veículo – rotina *Arc Routing*.

2.3. TEORIA DE GRAFOS

Os problemas de roteirização de veículos podem ser classificados como problemas em arcos ou em nós. O problema de roteirização de veículos de coleta de resíduos domiciliares está inserido na classe dos Problemas de Roteirização em Arcos.

Assim como qualquer outro modelo matemático de cunho aplicativo, esses problemas têm seus processos de formulação e resolução alicerçados sobre um conjunto de princípios teóricos. Deste modo, é necessária uma análise prévia de tais princípios.

Para um bom entendimento dos problemas de roteirização, faz-se necessário uma breve revisão do conceito de grafos que é feita a seguir. Os conceitos e teorias descritos aqui podem ser encontrados em Boaventura e Jurkiewicz (2009).

Um *grafo* é um par ordenado (V,E) formado pelos conjuntos de vértices (V) e de arestas (E) . A representação de um grafo é feita por pontos próximos (ou adjacentes) que se ligam por meio de linhas como na Figura 4.

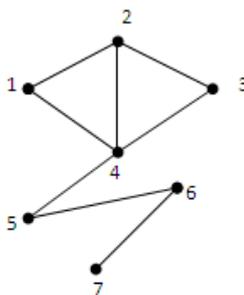


Figura 4. Representação de um grafo.

Ao considerar que essas linhas têm sentido, ou seja, para qual direção ela segue, tem-se o chamado *grafo orientado*. Neste caso, essas linhas são chamadas de arcos. Em caso de não haver indicação de direção, essas linhas são chamadas de arestas e o grafo é dito *não orientado*.

Define-se que dois vértices são adjacentes quando existe uma ligação entre eles e duas ligações são ditas adjacentes se elas partilham um mesmo vértice. A noção de adjacência nos leva a ideia de vizinhança, de proximidade.

Então pode se dizer que um vértice (x) é vizinho do outro (y) se existe no grafo não orientado uma aresta (x,y) . Para o caso orientado a ideia é a mesma, porém os vizinhos de x se subdividem em sucessores e antecessores, conforme se esteja seguindo um arco de x para seu vizinho ou o contrário. O número de vizinhos de um vértice determina o seu *grau*.

A partir dessa ideia de adjacência também se define *percurso ou cadeia* em um grafo como sendo uma coleção de vértice (ou ligações) sequencialmente adjacentes.

Essa definição de percurso serve tanto para os grafos orientados quanto para os não orientados. Faz-se necessário qualificar alguns termos mais específicos para os tipos de grafos.

Se em um grafo orientado e todos os arcos seguem o sentido início do percurso para o fim, esse percurso é chamado de *caminho*.

O percurso que não repete ligações é dito *percurso simples*. E aquele que não repete os vértices é dito *percurso elementar*. Se esse percurso elementar é fechado é chamado de *ciclo*.

Ainda encontra-se o *circuito* que é um caminho elementar e fechado, ou seja, um *ciclo orientado*.

Quando se descreve um grafo não orientado, pode-se ter a ideia de que todos os vértices podem ser alcançados já que a orientação é desconsiderada. No entanto, isto não acontece quando em um mesmo grafo um vértice não pode chegar a outro como acontece com os vértices 2 e 7, por exemplo, ver Figura 5.

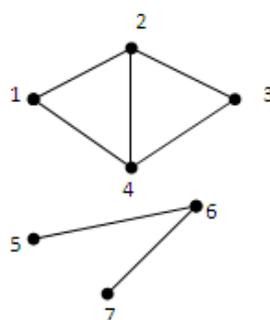


Figura 5. Grafo não conexo ou desconexo.

Então, um grafo, orientado ou não, é dito *não conexo* se existe pelo menos um par de vértices que não é ligado por nenhuma cadeia.

Considerando a existência de conexidade, um grafo não orientado é chamado de *conexo* quando existe a possibilidade de se ir de qualquer vértice a outro, atravessando arestas.

Para o caso dos grafos orientados pode-se classificá-los como: *simplesmente conexo*, onde todos os pares de arcos possuem ligação, mas alguns pares de pontos não podem ser atingidos um a partir do outro; *fortemente conexo*, onde sempre existe um caminho de um vértice para outro.

Diz-se que um grafo é *conectado* quando se quer enfatizar o quanto um grafo é mais conexo que o outro. A *conectividade* de um grafo $G(V,E)$ é o menor número de vértices que quando removidos desconectam G ou o reduz a um único vértice.

2.4. ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

A roteirização de veículos é definida como sendo um processo para encontrar o menor caminho para ir de um ponto origem a outro ponto de destino com o intuito de atender a um grupo de clientes, utilizando um determinado número de veículos, aumentando assim a eficiência por meio da máxima utilização dos recursos de transporte, tanto de material quanto de pessoal.

Para Bodin *et al.* (1983) o problema básico de roteirização é simples de se explicar. Determina-se um grupo de nós ou arcos para ser atendido por uma frota de veículos. Não há nenhuma restrição de quando ou em que ordem estes nós ou arcos devem ser atendidos. O problema é encontrar um roteiro de custo mínimo para esses agrupamentos, sendo que cada um terá uma rota específica com seu respectivo veículo.

Segundo Rosa (1996) os problemas de roteirização de veículos visam encontrar o melhor caminho entre dois pontos: origem e destino. O melhor caminho pode ser o de menor custo de transporte, o que proporciona mais segurança para a viagem, o que desgasta menos a frota, o que traz o melhor conforto aos passageiros, o que é feito em menor tempo. Ou seja, várias são as possibilidades de melhor caminho, mas cada problema depende da ótica em que é analisado.

Segundo Cunha (2000) roteirizar é determinar um ou mais roteiros ou seqüências de paradas para serem cumpridos por uma frota de veículos, com o objetivo de visitar um conjunto de pontos geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, que necessitam de atendimento.

Guimarães e Pacheco (2005) definem um problema real de roteirização em três dimensões fundamentais: decisões, objetivos e restrições. As decisões dizem respeito à alocação de um grupo de clientes, que devem ser visitados, a um conjunto de veículos e seus respectivos motoristas, envolvendo também a programação e o seqüenciamento das visitas.

O processo de roteirização visa propiciar um serviço de alto nível aos clientes, mas ao mesmo tempo manter os custos operacionais e de capital tão baixos quanto possível, obedecendo a certas restrições. Dentre as mais comuns estão as de completar as rotas com os recursos disponíveis, mas cumprindo totalmente os compromissos assumidos com os clientes, respeitar os limites de tempo impostos pela jornada de trabalho dos motoristas e ajudantes e de respeitar as restrições de trânsito.

2.4.1. A importância da Roteirização de Veículos

Atualmente, a necessidade das empresas de se organizar no sentido de aumentar o nível de serviço aos seus clientes, faz com que haja maiores preocupações com as questões relacionadas a agilidade na entrega de mercadoria, sendo considerado então a disponibilidade do produto, tempo hábil de atendimento, entre outros. Isto reflete diretamente na redução dos custos logísticos, onde uma das principais fontes de gastos é o transporte.

Um sistema de transporte eficiente pode contribuir para que uma empresa seja mais competitiva, diminua seus gastos com transporte e reduza os preços finais de suas mercadorias ao consumidor. No entanto, inúmeros são os parâmetros (demanda, tempo, veículos, pessoal, localização) que estão envolvidos neste processo e podem influenciar nos problemas de roteirização, tornando difícil a modelagem e a resolução dos mesmos.

Para Ballou (2006), os custos de transportes variam tipicamente entre um terço e dois terços do total dos custos logísticos. Reduzir os custos de transporte e melhorar os serviços ao cliente, descobrir roteiros melhores para os veículos ao longo de uma rede de rodovias, ferrovias, hidrovias ou rotas de navegação aérea a fim de minimizar os tempos e as distâncias constituem problemas muito freqüentes de tomada de decisão.

Vários são os tipos de problemas de roteirização de veículos. Uma adequada identificação de cada caso vai permitir ao interessado modelar e classificar o problema e, a partir daí, propor uma solução adequada a situação estudada.

2.4.2. Classificação dos Problemas de Roteirização de Veículos

Na literatura, encontra-se uma variedade de problemas de roteirização. Eles se diferenciam pelos parâmetros envolvidos, que basicamente são relacionados a demanda, distância, tempo de viagem, tamanho da frota de veículos. Belfiore (2006)

cita que uma das dificuldades em se modelar e resolver o PRV's está nesta grande quantidade de parâmetros que podem influenciar o tipo de problema.

A adequada classificação dos problemas de roteirização permite uma compreensão dos aspectos mais relevantes, sendo então, necessária uma visão sistêmica para uma tomada de decisão de qualidade. Deve-se identificar, modelar e classificar corretamente o problema, para que seja proposta uma estratégia de solução adequada.

Segundo Cunha (2000), o primeiro problema de roteirização a ser estudado foi o do caixeiro viajante (no inglês "*traveling salesman problem*" ou TSP), que consiste em encontrar o roteiro ou seqüência de cidades a serem visitadas por um caixeiro viajante que minimize a distância total percorrida e assegure que cada cidade seja visitada exatamente uma única vez.

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.

Dentre as várias restrições, citam-se: restrições de horário de atendimento (também conhecidas como janelas de tempo); capacidades dos veículos; frota de veículos heterogênea; duração máxima dos roteiros dos veículos (tempo ou distância); restrições de tipos de veículos que podem atender determinados clientes.

Bodin *et al* (1983) propõe uma classificação para os PRV's, onde se destacam os seguintes tipos:

1. Problemas de Roteirização Pura;
2. Problemas de Roteirização e Programação;

1. Problemas de Roteirização Pura.

O problema de roteirização pura diz respeito aos problemas nos quais o interesse está apenas nas questões espaciais, ou seja, o menor caminho a ser percorrido por um veículo partindo de um ponto inicial e retornando ao mesmo ponto (ou a outro

destino diferente do inicial) após visitar todos os pontos da rota proposta, sem considerar as questões relacionadas a tempo, capacidade, entre outras.

2. Problemas Combinados de Roteirização e Programação.

Caso as restrições de tempo, de seqüência de atividades sejam consideradas, tem-se os problemas denominados Combinados de Roteirização e Programação. A maioria dos problemas que acontecem na prática é caracterizada pela precedência de atividades e por restrições de janela de tempo.

Na precedência de atividades, por exemplo, muitas vezes a atividade de entrega de mercadorias deve preceder a atividade de coleta, caso estas devam ser feitas por um mesmo veículo.

As restrições de janela de tempo ocorrem quando o atendimento de clientes é feito dentro de um intervalo de tempo pré-estabelecido pelo cliente ou pelo transportador.

Resumindo, o objetivo desse processo é planejar um conjunto de rotas para alguns veículos, com “custo mínimo”, capaz de acomodar o maior número possível de clientes, e sempre obedecendo a um conjunto de restrições.

Esta dissertação baseia-se nos problemas de roteirização de veículos pura, onde estão inseridos os problemas em nós e em arcos. Assim, será feita uma apresentação dos problemas de roteirização em nós, e em seguida, uma descrição detalhada dos problemas de roteirização em arcos.

2.4.3. Problemas de Roteirização em Nós

Os problemas de roteirização em nós buscam basicamente atender os pontos de uma rede, buscando o trajeto de percurso mínimo. Dentre os problemas envolvendo cobertura de nós, destaca-se como básico o Problema do Caixeiro Viajante (*Traveling Salesman Problem – TSP*).

O *TSP* é um problema de otimização que associado ao da determinação dos caminhos hamiltonianos (que consiste em encontrar uma rota através dos vértices do dodecaedro que inicie e termine em uma mesma cidade sem repetição de visitas), busca encontrar o caminho de menor custo em determinado grafo.

Segundo Novaes (1989), diversos problemas práticos de logística se enquadram dentro do *TSP*. No entanto, há diversas formulações do problema, com desenvolvimento de um grande número de métodos para resolvê-las, e que vão depender do que se deseja melhorar (distância, tempo, lucro, entre outros).

Um dos métodos conhecidos é o de Clarke e Wright (1954), que segundo Novaes (1989), é bastante engenhoso e eficaz. Este método se baseia no conceito de “economia” que pode ser obtido substituindo arcos considerados com custos altos dentro de uma determinada rota por arcos de custo menor e, conseqüentemente, gerando roteiros melhorados.

2.4.4. Problemas de Roteirização em Arcos

Este tipo de problema de roteirização aparece em diversas aplicações na área de Logística. Em problemas de roteirização em arcos, a meta é determinar a travessia de custo mínimo de um conjunto especificado de arcos (ou arestas) de um grafo, com ou sem restrições.

Estes problemas aparecem em diversos contextos práticos, tais como entrega e coleta de correspondências, coleta de lixo, roteirização de ônibus escolar e patrulhamento de ruas pela polícia (ARENALES et al, 2007).

A primeira referência sobre um Problema de Roteirização em Arcos (Arc Routing Problem – ARP) acontece praticamente ao mesmo tempo em que a proposição da *Teoria dos Grafos* foi feita pelo matemático suíço Leonhard Euler, em 1736, a partir do caso das pontes de Königsberg.

Tal problema consistia em definir um percurso que, partindo de um determinado ponto, atravessasse exatamente uma vez cada uma das sete pontes sobre o Rio Pregel, Figura 6, e se encerrasse no mesmo ponto de partida.

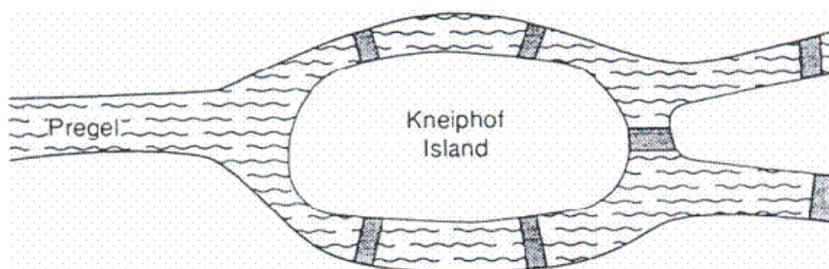


Figura 6. As sete pontes de Königsberg.

Fonte: Eiselt *et al* (1995).

Ele verificou que o passeio fechado que os habitantes desejavam não era possível porque os quatro vértices do grafo tinham grau ímpar e provou parte do teorema que leva seu nome, que o percurso fechado só seria possível se não houvesse graus ímpares no grafo (BOAVENTURA E JURKIEWICZ, 2009).

Euler descobriu que seria muito difícil ficar enumerando todas as soluções para o referido problema, e assim sendo, propôs um método simplificado, sem ter que enumerar todas as soluções, que poderia resolver o problema de forma muito mais próxima da exata (ROSA, 1996).

Sua teoria concluiu que se um percurso fechado utiliza todas as arestas de um grafo exclusivamente uma única vez, tem-se um percurso euleriano e um grafo com tal característica é dito euleriano. A partir daí, o teorema foi proposto da seguinte maneira: “*um grafo $G(V,E)$ não orientado e conexo possui um ciclo euleriano se e somente se todos os vértices tiverem grau par.*” Surge daí a expressão *ciclo de Euler*. (BOAVENTURA E JURKIEWICZ, 2009) (ROSA, 1996).

O teorema também é válido para o caso do grafo orientado e conexo se e somente se a cada entrada em um vértice houver correspondência a uma única saída.

Em 1962, Meiko Guan (Guan, 1962 apud Eiselt, 1995) publicou o primeiro trabalho sobre o Problema de Roteirização em Arcos (*Arc Routing Problems – ARP*). Durante

a Revolução Cultural Chinesa ele havia trabalhado por um período de tempo em uma agência dos correios, e levantou o problema de se determinar um percurso de extensão mínima para um carteiro que, partindo de uma agência deveria atravessar pelo menos uma vez cada segmento de via em uma área de atendimento, concluindo seu trajeto no ponto de partida.

Segundo Eiselt *et al* (1995) esta é a origem do Problema do Carteiro Chinês (*Chinese Postman Problem – CPP*), cujo problema é percorrer todos os arcos de uma rede minimizando a distância total de viagem.

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos no intuito de modelar matematicamente os Problemas de Roteirização em Arcos. Edmonds e Johnson (1973) publicaram um trabalho, que até os dias de hoje é considerado como referência, onde foram estabelecidos os principais algoritmos de solução para o *CPP*.

2.4.5. A Roteirização de Veículos de Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares

Beltrami e Bodin (1974) publicaram um trabalho muito interessante em que relacionavam os aspectos conceituais do Problema de Roteirização em Arcos com aplicações de ordem prática, no serviço de coleta de resíduos sólidos na área urbana de Nova York.

Ainda na mesma década, Bodin e Kursh (1978 e 1979) publicaram dois trabalhos relevantes que descrevem as primeiras experiências de desenvolvimento e implantação de um sistema para planejamento das rotas dos equipamentos usados para a varrição de ruas em Nova York.

O problema de roteirização de veículos de coleta de resíduos domiciliares está inserido na classe dos Problemas de Roteirização em Arcos, na qual pode-se considerar restrições como o tempo mínimo de rota, distância máxima a ser percorrida, tempo máximo de jornada de trabalho e a capacidade máxima dos veículos que compõem a frota.

Nesta dissertação a abordagem dada para o problema da coleta de resíduos é por meio do Problema de Roteirização em Arcos Capacitados (*Capacitated Arc Routing Problem - CARP*).

2.5. O PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO EM ARCOS CAPACITADOS

O Problema de Roteirização em Arcos Capacitados (*Capacitated Arc Routing Problem - CARP*) foi proposto originalmente por Golden e Wong em 1981. Consiste em encontrar um conjunto de rotas de custo mínimo para uma frota de veículos que, passam por cada depósito (ponto de início e fim de cada rota), de tal forma que cada arco com demanda maior que zero seja atendido exatamente uma vez por um veículo respeitando sua capacidade máxima. O *CARP* admite que a demanda $q_{ij} \geq 0$.

2.5.1. A Classificação do CARP

Bodin *et al* (1983) apresentam três subclasses básicas dos *ARP*'s, sendo que todos eles podem ser definidos em grafos orientados, não orientados e mistos.

- a) O Problema do Carteiro Chinês (*Chinese Postman Problem – CPP*),
- b) O Problema do Carteiro Rural (*Rural Postman Problem – RPP*) e
- c) O Problema do Carteiro Chinês Capacitado (*Capacitated Chinese Postman Problem – CCPP*).

A seguir são detalhadas as três subclasses:

Problema do Carteiro Chinês: Neste problema se tem um grafo valorado (por distâncias, tempos, custos etc.) e o interesse está na repetição de itinerários parciais, de modo a gerar um itinerário único. Por exemplo, se o problema for de coleta de lixo, será necessário determinar em quais ruas o caminhão deverá passar novamente (sem realizar nova coleta) para retomar seu trabalho mais adiante (BOAVENTURA E JURKIEWICZ, 2009).

Eiselt *et al* (1995) cita que a principal propriedade para o estudo do *CPP* é o Roteiro de Euler. Um grafo conectado é dito Euleriano se nele existir um caminho fechado (ou seja, uma rota de custo mínimo) em $G(N,A)$ contendo cada arco uma única vez e cada vértice pelo menos uma vez.

Um resultado fundamental é a demonstração de condições necessárias e suficientes para um grafo conectado ser Euleriano. Filho e Junqueira (2006) descrevem estas condições como segue:

1. Se G for conectado não orientado: tem um circuito que passa exatamente uma vez por todos os seus arcos, se, e somente se, todos os nós deste grafo tiverem exatamente zero nós de grau ímpar (em outras palavras, se todos os nós forem de grau par). Esta importante relação faz parte do Teorema de Euler;
2. Se G for fortemente conectado e orientado, ele possui um circuito de Euler se, e somente se, ele contiver todos os nós com grau de entrada igual ao grau de saída (balanceado);
3. Se G for misto fortemente conectado, ele tem um roteiro Euleriano se, e somente se, todos os nós deste grafo tenham grau par e sejam balanceados.

Os algoritmos para o *CPP* contêm duas fases distintas. A primeira é para determinar um grupo de arcos que minimize a distância total percorrida. Então um roteiro atual do grafo aumentado sempre pode ser determinado em tempo polinomial, caso G não seja misto. No segundo caso, o acréscimo do custo mínimo é obtido resolvendo um problema de fluxo de custo mínimo. (EISELT *et al*, 1995).

Problema do Carteiro Rural: neste problema se deseja encontrar um ciclo de custo mínimo que percorra um subgrupo de arcos pertencentes ao grafo apenas uma vez. Todos os arcos pertencentes a este subgrupo possuem demanda maior que zero e o somatório dessas demandas é sempre menor ou a capacidade máxima do veículo que realiza o percurso.

Problema do Carteiro Chinês Capacitado: neste problema a demanda dos arcos deve ser atendida por um veículo que possui uma restrição de capacidade, ou seja, um limite máximo de carga. O número de roteiros gerados para que todos os arcos

sejam atendidos deve satisfazer a demanda percorrida possível, obtendo a menor distância a serem construídos. A seção seguinte apresenta as características do CCPP e sua modelagem matemática.

2.5.2. O Problema do Carteiro Chinês Capacitado (CCPP)

Este problema foi proposto como um caso especial do CARP por Golden e Wong em 1981, por considerarem que o CCPP reflete situações reais mais diretamente que o CARP. A diferença entre os dois é que a demanda do CCPP não admite valor igual a zero. Os autores formularam matematicamente este problema como definido a seguir.

Dado:

x_{ij} : número de vezes que o arco (i,j) é percorrido de i para j ;

c_{ij} : custo do arco (i,j) ;

V : conjunto de nós (vértices), onde $V=(1,2, \dots, n)$;

S : conjunto de carteiros ou veículos, onde $S=\{1, 2,\dots,p\}$;

q_{ij} : demanda no arco (i,j) ;

W : capacidade do veículo, sendo $W \geq \max q_{ij}$;

$x_{ij}^p = \begin{cases} 1, & \text{se o arco } (i, j) \text{ é percorrido pelo veículo/carteiro } p; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$

$l_{ij}^p = \begin{cases} 1, & \text{se o carteiro/veículo } p \text{ atende ao arco } (i, j); \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$

f_{ij}^p : fluxo variável, que pode assumir valores positivos se $x_{ij}^p = 1$.

$$CCPP = \min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{p \in S} c_{ij}^p x_{ij}^p \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in V} x_{ji}^p - \sum_{j \in V} x_{ij}^p = 0 \quad \forall i \in V, p \in S \quad (2)$$

$$\sum_{p=1}^s (I_{ij}^p + I_{ji}^p) = \left\lfloor \frac{q_{ij}}{w} \right\rfloor \quad \forall (i,j) \in E \quad (3)$$

$$x_{ij}^p \geq I_{ij}^p \quad \forall (i,j) \in E, p \in S \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} I_{ij}^p q_{ij} \leq w \quad p \in S \quad (5)$$

$$\sum_{j \in V} f_{ij}^p - \sum_{j \in V} f_{ji}^p = \sum_{j \in V} I_{ij}^p \quad \forall i \in E \setminus (1), p \in S \quad (6)$$

$$f_{ij}^p \leq (n^2) x_{ij}^p \quad \forall (i,j) \in E, p \in S \quad (7)$$

$$f_{ij}^p \geq 0 \quad p \in S \quad (8)$$

$$q_{ij} > 0 \quad \forall (i,j) \in E \quad (9)$$

$$f_{ij}^p, x_{ij}^p \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E, p \in S \quad (10)$$

A função objetivo (1) visa minimizar a custo total segundo as seguintes restrições a seguir.

A restrição (2) garante a continuidade de fluxo das rotas dos carteiros/veículos.

A restrição (3) assegura que o atendimento dos carteiros/veículos é considerado em apenas uma das suas passadas pelo arco.

A restrição (4) obriga que o veículo/carteiro percorra os arcos que lhe forem designados a atender.

A restrição (5) garante que a capacidade de atendimento de cada veículo/carteiro não seja ultrapassada.

A restrição (6) garante que o fluxo de atendimento é igual ao computado pela designação aos veículos/carteiros.

As restrições (7), (8) e (9) garantem que sub-rotas ilegais sejam eliminadas.

A restrição (10) é uma restrição de integralidade.

2.6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Beltrami e Bodin (1974) exploram técnicas para resolver alguns dos problemas de roteirização de veículos de coleta municipal de resíduos. O artigo descreve métodos que foram concebidos para melhorar as rotas dos veículos de coleta de resíduos de Nova York a partir de uma modificação no algoritmo proposto por Clarke e Wright. A primeira abordagem encontra primeiro uma única rota para todo o grafo e, em seguida, divide esta rota em subrotas viáveis, ou seja, roteiriza primeiro e depois agrupa. A segunda abordagem, que é apenas descrita, primeiro divide a área geográfica em regiões contíguas e, em seguida, se aplica o procedimento de criar rotas para cada região (primeiro agrupa e depois roteiriza).

Carvalho (2001) desenvolveu uma solução integrada para projetar um sistema de limpeza urbana em plataforma SIG, no intuito de otimizar a frota necessária para a realização do serviço e roteamento dos setores atendidos. A metodologia oferece um conjunto de rotinas que facilitam a construção e a análise de alternativas para o problema e uma modelagem estatística que procura estabelecer parâmetros e índices do sistema de coleta, por meio de técnicas estatísticas. Utiliza a rotina existente no TransCAD para Roteamento para Coleta de Resíduos Sólidos. Foi feita uma aplicação prática e como resultado obteve-se um projeto completo do sistema com especificações contendo dimensionamento dos setores, atribuição de turnos e frequências de coletas, alocação de frota e roteamento. A conclusão é que a metodologia proposta foi vantajosa, pois minimiza o tempo gasto para processamento e garante maior fidelidade e segurança nos dados e resultados.

Lacerda (2003) relata o uso de um Sistema de Informação Geográfica – SIG como ferramenta para roteirização de veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares. O software utilizado para o desenvolvimento do trabalho foi o TransCAD, versão 3.2. O objetivo do trabalho era minimizar a extensão total a ser percorrida pelos veículos coletores. O estudo de caso foi realizado na cidade de Ilha Solteira – SP. Os resultados obtidos pelo TransCAD e os dados fornecidos pelo Setor de Obras e Serviços da Prefeitura Municipal foram processados no software Microsoft para a obtenção dos parâmetros operacionais distâncias e tempos percorridos. Os resultados obtidos com a rotina demonstraram reduções percentuais de até 41%, em

termos de distância percorrida e de 68% no tempo total de percurso, em relação ao tempo anterior.

Santos e Rodrigues (2003) apresentam uma aplicação, desenvolvida por meio da tecnologia dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), para coleta de resíduos sólidos urbanos. Esta aplicação foi testada na rede urbana de Coimbra, em Portugal. O objetivo é minimizar a distância total percorrida e o número de veículos envolvidos. A aplicação foi desenvolvida usando o SIG ArcView. A modelagem do problema baseou-se no *CARP* e a heurística escolhida que permite tratar o *CARP* foi a Path Scanning. Após a análise do trabalho realizado, conclui-se que os objetivos globais referentes à implementação da heurística e visualização dos resultados foram atingidos.

Maniezzo (2004) apresenta um trabalho relatando a eficácia das diferentes metaheurísticas em Problemas de Roteirização em Arcos Capacitados Direcionados (*DCARP*) aplicados ao mundo real. Especificamente, o trabalho resulta de uma experiência de apoio à decisão para a coleta de resíduos em setores dos municípios de cidades com cerca de 100.000 habitantes, com o objetivo de projetar rotas para os veículos de coleta de resíduos sujeitas a uma série de limitações operacionais. Duas principais questões surgiram: 1) Otimização do *CARP*: a abordagem heurística original teve de ser feita de modo a satisfazer a qualidade da solução e as especificações permitidas pelo tempo computacional. 2) Interface com o operador: foi necessária para produzir um sistema de interface que poderia ser efetivamente utilizado por um operador de serviço permitindo-lhe compreender plenamente a instância do problema e detalhes da solução, em conjunto com qualquer intervenção manual pretendida. Considerando que a coleta de resíduos em cidades maiores, geralmente, primeiro é planejada por particionamento da cidade em zonas e, em seguida, resolver o encaminhamento para cada zona (ou seja, agrupa primeiro e depois roteiriza), os autores se mostram convencidos de que a abordagem proposta pode ser considerada uma opção real para roteirização também para maiores municípios.

Amponsah e Salhi (2004), baseando-se no *CARP*, apresentam uma heurística construtiva, que leva em conta o aspecto ambiental, bem como o custo da proposta

para resolver o problema de roteirização da coleta de lixo. Essa heurística considera aspectos ambientais para resolver o problema de coleta de resíduos para os países em desenvolvimento e sob um olhar estratégico baseia-se num modelo com dois objetivos: minimizar os custos e os efeitos ao meio ambiente. A nova heurística demonstrou ser eficiente computacionalmente e obteve um bom desempenho em todos os problemas-testes, além da vantagem de produzir várias soluções. Esta flexibilidade, a qual considera tanto custo e ambiente poderiam ajudar as autoridades locais na escolha de soluções, de acordo com suas necessidades.

Paes e Arica (2005) abordaram uma proposta computacional para o Problema do Carteiro Chinês Misto – (*Mixed Chinese Postman Problem – MCPP*) destinado a melhorar a rota de veículos em um determinado setor de coleta. O algoritmo híbrido proposto para melhorar as rotas foi baseado na metaheurística GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure). Verificou-se durante a etapa de testes, que quando se calcula a solução ótima do MCPP por meio de um método exato aplicado ao modelo de Programação Linear Inteira, o tempo de processamento aumenta na medida em que um setor de coleta apresenta acréscimo no número de ruas de mão-dupla (grafo com maior número de ruas). Por outro lado, o modelo heurístico implementado mostrou-se eficiente quanto ao tempo de resposta, e pelo fato de ter como entrada alguns poucos parâmetros.

Ghiani *et al* (2005) realizaram um estudo sobre a coleta de resíduos sólidos para o Departamento de Saúde do Município de Castrovillari, uma cidade localizada no sul da Itália. As principais dificuldades que tiveram de enfrentar era a dependência de um número de restrições impostas pelas características da rede rodoviária, do congestionamento do tráfego e dos equipamentos. Baseando-se no *CARP*, os autores estudaram uma heurística utilizando o método de solução de primeiro agrupar e depois roteirizar, cujo resultado foi um sistema informatizado que permitiu evitar horas extras e redução de cerca de 8% no custo total.

Brito (2006) analisou o transporte de resíduos sólidos comerciais urbanos, por meio do algoritmo de problemas de roteirização de veículos com janela de tempo existente no TransCAD, na cidade de Ilha Solteira – SP. O método utilizado para análise do transporte de resíduos consiste em coleta de dados, caracterização do

sistema atual, simulação do sistema utilizando SIG e análise dos resultados. Os dados foram coletados durante o período de julho a agosto de 2006. O sistema atual define a roteirização de veículos pelo método empírico com apenas um veículo, que visita 172 pontos comerciais, que caracteriza um estudo usando a roteirização em nós para a coleta de resíduos sólidos. O veículo realiza três viagens/dia para suprir a demanda. Para o estudo foram simulados três cenários: para rota de coleta com o local de disposição final atual; rota de coleta, considerando o melhor local definido pelo método de Orsati (2006); e rota de coleta com outros locais de disposição final, analisados por Orsati (2006). Os resultados mostram que há uma economia significativa de distância e tempo no roteirização pelo método computacional, em relação ao método empírico no estudo de caso realizado. O método computacional para roteirização dos veículos de coleta mostrou ser mais eficiente do que o método empírico.

Castro (2006) 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). 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 TransCAD como ferramenta para roteirização de veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares. 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 anterior.

Simoneto e Borenstein (2006) escreveram um artigo sobre a concepção, modelagem e implementação de um sistema de apoio à decisão aplicado ao planejamento operacional da coleta seletiva de resíduos sólidos (SCOLDSS), o qual tem por funcionalidade principal a geração de alternativas ao processo decisório no que se refere à: a) alocação de veículos para a coleta seletiva, bem como determinação do

roteiro a ser percorrido; e b) determinação da quantidade diária de resíduos sólidos a ser enviada a cada unidade de triagem, de modo a evitar o desperdício de mão-de-obra e reduzir a quantidade de resíduos enviada aos aterros sanitários. Para seu desenvolvimento, foi utilizada a combinação de técnicas advindas da Pesquisa Operacional, quais sejam: a simulação de eventos discretos e algoritmos/heurísticas para o problema da alocação e roteamento de veículos.

Para a validação do SCOLDSS, foram utilizados dados da coleta seletiva de um município do Rio Grande do Sul. É também apresentado um estudo de caso utilizando dados reais da coleta seletiva, no qual são apresentados os resultados gerados pelo sistema, bem como resultados comparados ao sistema atualmente utilizado no processo de coleta seletiva do município. Especificamente para o estudo de caso realizado com dados do DMLU/POA, os seguintes resultados foram obtidos: soluções para percursos, em média, 8,82% melhores que os atualmente obtidos; redução no número de viagens dos veículos de coleta na ordem de 17,89%; e por meio da simulação do processamento de resíduos nas unidades de triagem e da definição do percentual de demanda mínima de resíduos por unidade, pode-se balancear a distribuição deles entre estas, por dia de coleta. Desta forma, de acordo com a capacidade de processamento individual, é garantido material de trabalho, a cada unidade operante nos dias de coleta seletiva. Após a análise dos resultados gerados pelo SCOLDSS, uma das recomendações que foram feitas é a de que, em determinados dias de coleta, seja feito um aumento do número de locais a serem percorridos pelos veículos de coleta.

Filho e Junqueira (2006) apresentam um trabalho que trata do problema do carteiro chinês (CPP) propondo um algoritmo para auxiliar na escolha de métodos adequados a fim de se resolver o CPP. Em seguida, o algoritmo desenvolvido é utilizado na escolha de métodos para resolução do CPP em dois casos reais. O trabalho também verifica se, nos problemas práticos de logística urbana estudados, é válida uma premissa citada na literatura de que a complexidade do CPP com uma única entidade em problemas mistos é muito maior do que para problemas direcionados e não direcionados. Para isto, são selecionados casos reais de coleta de lixo e correios em uma cidade do interior paulista. Esse trabalho conclui que, para problemas extraídos de situações logísticas reais, inexistem significativas diferenças

entre o tempo computacional para a resolução dos modelos matemáticos com vistas à obtenção de grafos *eulerianos* não direcionados, direcionados e mistos.

Li, Borenstein e Mirchandani (2006) consideram no artigo um problema de programação de caminhão no contexto da coleta de resíduos sólidos na cidade de Porto Alegre, Brasil. O problema consiste em definir horários diários, ao longo de um conjunto de rotas de coleta previamente definidos, em que os caminhões recolhem os resíduos sólidos em pontos fixos e descarregam as cargas em uma das várias instalações operacionais do sistema. O principal objetivo é minimizar o total de funcionamento e custos fixos do caminhão. Eles provam que o problema pode ser modelado como o problema de programação de veículo com único depósito, considerando as restrições pertinentes ao problema da coleta de resíduos sólidos, como por exemplo, a descarga equilibrada. Uma abordagem heurística, incorporando um algoritmo e um método programação dinâmica, é utilizada para adquirir uma boa solução. Finalmente, são feitos experimentos computacionais com dados reais. Os resultados mostram que a abordagem heurística baseada no problema de programação de veículos com único reduz os custos totais e equilibra o número de viagens atribuídas a cada tratamento dos resíduos.

Cordeiro (2008) propõe a utilização de metodologias heurísticas na criação de um método para a resolução dos Problemas de Roteirização em Arcos de uma empresa privada do setor de limpeza urbana. O método foi desenvolvido a partir da estratégia de agrupar primeiro e roteirizar depois, para o Problema de Coleta de Resíduos Domiciliares descrito em um grafo não orientado. A validação do método foi feita por meio de sua aplicação em um estudo de caso. Foram feitas, em seguida, a análise do desempenho do método nesta aplicação e a comparação entre os resultados obtidos e a prática atualmente utilizada pela empresa. A análise dos resultados obtidos demonstrou a capacidade do método em produzir áreas de atendimento com formato uniforme e com variações irrelevantes no tempo, fazendo com que as equipes tenham jornadas de trabalho equilibradas.

Detofeno e Steiner (2009) apresentam uma metodologia para a obtenção de uma solução otimizada do problema de geração de rotas na coleta de resíduos urbanos. A metodologia consistiu de quatro etapas: 1) estudo exploratório, onde o problema

foi caracterizado e estruturado; 2) desenvolvimento da solução, por meio da identificação de algoritmos matemáticos capazes de resolver o problema; 3) foram definidos os grupos de pontos para a coleta, utilizando-se a heurística de Teitz e Bart; os 5 grupos de atendimento (trechos de ruas) para cada caminhão por meio do algoritmo de designação de Gillett e Johnson, considerando a restrição de capacidade; e o roteamento dentro de cada um destes grupos utilizando o Algoritmo do Carteiro Chinês. 4) validação da solução, por intermédio de testes para verificar se os resultados obtidos estão de acordo com a realidade observada. Os resultados obtidos para um estudo de caso, utilizando dados reais, foram satisfatórios, pois ajudaram a obter um percurso de distância mínima mais eficiente quando se utilizou o CPP. O algoritmo de Gillet e Jonhson retornou uma satisfatória formação de áreas atendidas por cada um dos caminhões e a alteração no algoritmo de Teitz e Bart possibilitou que o problema fosse expandido e atendesse uma área maior.

Capítulo 3 – DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O problema abordado nesta dissertação é como planejar a coleta de resíduos sólidos domiciliares nos municípios brasileiros de forma mais eficiente.

Para realizar a coleta de resíduos sólidos que são gerados e retirados dos domicílios pelos moradores é necessária uma engenharia envolvendo pessoal, veículos e uma organização de roteiros eficientes que atendam a todos os logradouros que possuam demanda de coleta de lixo.

Geralmente a atividade é organizada em turnos, onde as equipes são compostas por um motorista e um determinado número de coletores em cada caminhão e o número de rotas e equipes é determinado pela quantidade de caminhões disponíveis em cada turno.

Em alguns municípios como Cariacica, Espírito Santo, para a realização dessa atividade os coletores dividem a tarefa de coleta da seguinte maneira: parte deles trabalha fixo no caminhão fazendo a coleta dos resíduos e colocando no caminhão, e parte deles vem fazendo o serviço de frente, ou seja, passando nas ruas antes do caminhão, recolhendo e amontoando o lixo em pontos estratégicos para agilizar a coleta em cada logradouro.

Durante a revisão bibliográfica feita foi constatado que o planejar deste serviço é realizado em muitas cidades brasileiras de forma empírica. Alguns estudos foram feitos no Brasil para mostrar a importância do uso de mecanismos mais aprofundados para melhoria do planejamento do serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares, baseando-se nas muitas variações dos problemas de roteirização.

São abordadas questões sobre minimizar a distância percorrida e o tempo gasto para realizar a coleta. Quando existe a preocupação com o tempo mínimo de rota é importante verificar se esse tempo menor não irá implicar em tempo ocioso dos

trabalhadores que realizam a coleta. Muitas vezes as rotas são propostas com redução de custos relacionados a tempo e distância, mas existe sobra de tempo de trabalho da equipe que realizam a coleta.

Além disso, ainda tem-se que considerar que geralmente neste tipo de problema o depósito e a garagem são únicos e próximos a áreas residenciais. Por questões ambientais não há como ter vários locais para disposição final do lixo recolhido, então é necessário que se tenha um local apropriado para o descarregamento dos veículos e acondicionamento dos resíduos de forma que não gerem problemas ambientais para os moradores próximos ao local escolhido.

Ballou (2006) cita que quando se trata de roteirização de veículos se torna complexo encontrar itinerários eficientes quando os pontos de origem e destinos são os mesmos como, por exemplo, na coleta de resíduos sólidos domiciliares.

Na região metropolitana da Grande Vitória, que engloba os municípios de Cariacica, Guarapari, Serra, Viana, Vila Velha e Vitória, são coletadas diariamente 1.465,80 toneladas de lixo, segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada em 2000 e disponibilizada pelo IBGE em 2002 (IBGE, 2002), que deve ter crescido significativamente nos últimos anos em função do crescimento dos municípios.

Em todos esses municípios existe uma área para a disposição final dos resíduos, sendo que em dois deles o local é de propriedade da Prefeitura, três de empresas privadas e em um a informação sobre a área não está disponível.

O Censo Demográfico realizado no ano de 2000 (IBGE, 2002) buscou informações sobre a destinação dada ao lixo produzido nos domicílios brasileiros. No Espírito Santo, nos municípios de Vitória, Vila Velha, Serra e Cariacica, foi declarado que em torno de 50% dos domicílios o lixo é coletado (ou seja, o lixo domiciliar é coletado diretamente por serviço de limpeza, pública ou privada, ou é depositado em caçamba, tanque ou depósito de serviço por empresa de limpeza, pública ou privada, que posteriormente o recolhe) e que, grande parte desta coleta é feita por serviço de limpeza.

No entanto, o gráfico da Figura 7 a seguir mostra que no município de Cariacica 12,32% dos domicílios dão outro destino ao lixo produzido. Ou são queimados ou enterrados na propriedade, jogado em terreno baldio ou logradouro, jogado em rio, lago ou mar, entre outros.

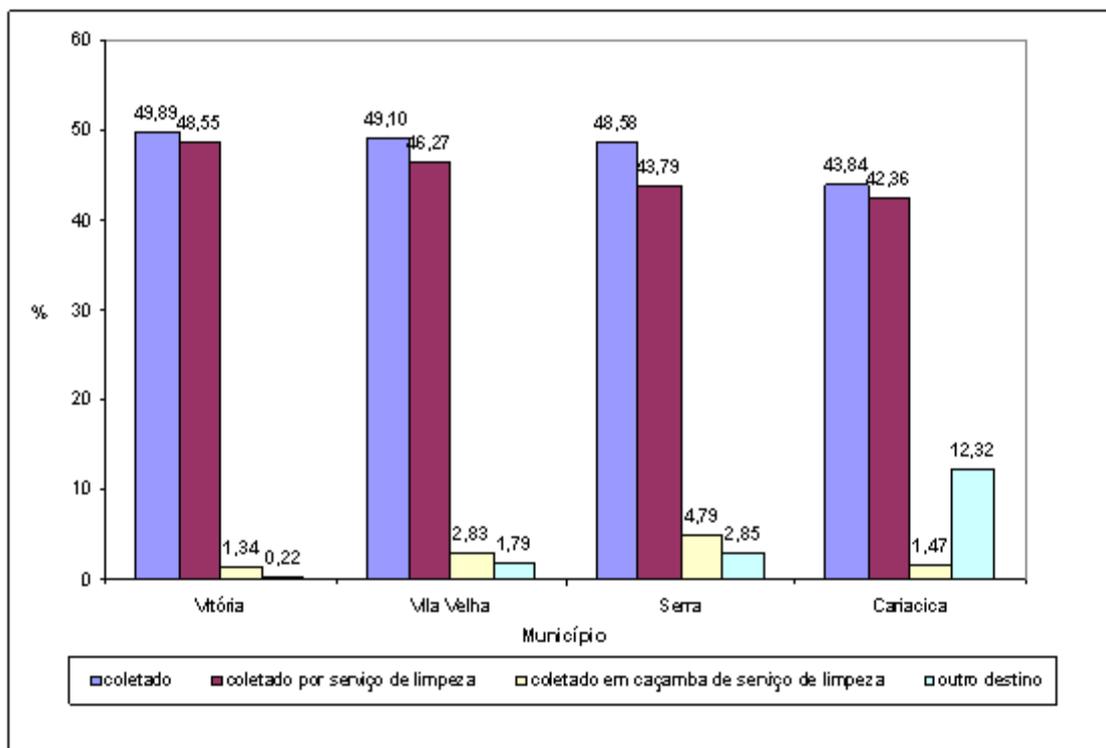


Figura 7. Distribuição percentual dos domicílios particulares permanentes segundo a destinação dada ao lixo que produzem.

Fonte: IBGE, Resultados do Universo do Censo Demográfico 2000.

O município de Cariacica é um dos municípios da Região Metropolitana da Grande Vitória que atualmente contrata uma empresa particular que é a responsável pelo serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares, trabalho este coordenado pela Secretaria Municipal de Serviços Urbanos e Transportes.

Em Cariacica são 176 (cento e setenta e seis) bairros que atualmente são atendidos em rotas alternadas. A construção destas rotas é feita de forma empírica, baseada na experiência dos técnicos da empresa, de acordo com a demanda que surge em função do crescimento da população ou das necessidades impostas pelas características da região.

Desde o início, as atividades da empresa abrangem todo o município de Cariacica. Tudo que é destinado pelos moradores para o lixo é recolhido pela empresa, por meio de seus caminhões coletores. A partir do ano de 2000 foi feito um estudo para organizar as rotas de coleta em dias alternados para atender a todo o município, exceto os bairros de difícil acesso, cuja a coleta era manual e continua até hoje.

Para a coleta dos resíduos são utilizados caminhões próprios para o tipo de serviço. O principal veículo é o caminhão ATEGO da Mercedes (Figura 8), desenvolvido especialmente para atender este tipo de serviço pois ele possui o sistema de suspensão mais reforçado e com o trem de força (motor, câmbio e diferencial) diferente dos outros modelos fabricados pela empresa, por considerar o tipo de serviço mais severo. É um tipo de caminhão específico para serviços urbanos.



Figura 8. Caminhão modelo ATEGO.

Fonte: autora.

Até o ano de 2004 eram utilizados os caminhões do tipo misto, já que ainda não havia o modelo específico para o tipo de serviço. Neste mesmo ano foram adquiridos 03 (três) modelos com características próximas ao modelo utilizado atualmente, caminhão modelo 1420. Em 2005, foram adquiridos 02 (dois) caminhões modelo ATEGO e, no final de 2006, mais 05 (cinco). Os três caminhões de uso

misto são utilizados como veículos reserva. No Quadro 1 a seguir é apresentada a frota atual de caminhões.

Quadro 1:Frota de caminhões da empresa.

MODELO	QUANTIDADE	Ano
1214	03	1994
1420	03	2004
1718 (ATEGO)	07	2006

Fonte: Marca Ambiental (2007).

Para melhor monitoramento das rotas a empresa faz uso de um software de rastreamento. É uma forma da empresa saber como estão sendo cumpridas essas rotas e monitorar os possíveis problemas com tráfego.

Cada caminhão tem capacidade de até 10 toneladas de lixo. Porém, é recomendado que não seja atingida a capacidade máxima de cada um para que haja um melhor desempenho dos veículos. Então, a empresa adota como capacidade máxima 8 toneladas.

Para a realização da coleta deve ser respeitada a capacidade máxima dos caminhões utilizados. O problema da coleta de resíduos sólidos domiciliares que se caracteriza como um Problema de Roteirização em Arcos (*ARP*). Os logradouros (ruas, avenidas, travessas, etc) são os arcos e possuem a demanda de coleta de lixo. Por isso, esta dissertação baseia-se no Problema Roteirização em Arcos com restrição de capacidade dos veículos.

Na maioria dos casos, os roteiros propostos são alternados, ou seja, um determinado bairro atendido em um dia só voltará a ser atendido daqui a 48 horas (dois dias). Considerando que o serviço de coleta de lixo domiciliar é realizado de 2ª-feira a sábado, cada bairro terá no máximo três dias de coleta por semana.

São propostos roteiros únicos para que sejam atendidos pelas equipes que possuem uma jornada diária de trabalho pré-determinada. Em caso de uma equipe

cumprir seu itinerário diário antes do término de sua jornada de trabalho tem-se sobra de tempo do motorista, dos coletores e do caminhão utilizados.

Sendo assim, o reaproveitamento dos veículos e de equipes que se encontrem nesta situação faz-se necessário, pois pode levar ao atendimento de mais logradouros diariamente, a coleta de um volume maior de resíduos sólidos domiciliares, evitando que o lixo fique acumulado, gerando mau cheiro e evitando maiores problemas ambientais.

Uma análise logística da situação atual do município no que se refere à quantidade de resíduos que deve ser coletada semanalmente e a proposição de uma metodologia que possa fazer com os logradouros sejam atendidos de forma que seja possível aproveitar ao máximo a jornada de trabalho de cada equipe evitando a ociosidade de caminhões e de pessoal, podem resultar em ganhos não só no que diz respeito aos custos de transporte, mas também em relação ao impacto ambiental e social.

Por exemplo, minimizar a geração/propagação de doenças devido a falta de recolhimento dos resíduos, evitar a contaminação do ambiente natural, não só pelo depósito irregular de lixo, mas também pela falta de educação ambiental e cidadã das pessoas que lançam resíduos nos logradouros públicos, entre outros.

Capítulo 4 – PROPOSTA DA METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO

Para a resolução do problema descrito no capítulo anterior, este trabalho propõe uma nova metodologia para análise da logística visando o melhor aproveitamento da jornada diária de trabalho das equipes e conseqüentemente da frota de caminhões que realiza a coleta de resíduos sólidos domiciliares.

Vale a pena pensar que o recolhimento dos resíduos sólidos domiciliares precisa não somente de que sejam criadas rotas que atendam a uma região como um todo, mas que este seja feito da melhor maneira possível, analisando todos os tipos de redução de custos possíveis, pois invariavelmente os orçamentos públicos são restritos.

Pelo levantamento bibliográfico foi constatado que a proposição do uso de softwares de roteirização limita-se apenas à utilização das rotas resultantes, não considerando a possibilidade de reaproveitamento das equipes e dos veículos.

Para que o serviço de coleta seja realizado é necessário um planejamento que envolva um menor custo com este serviço. Assim, reaproveitar os veículos significa organizar as rotas de tal maneira que o tempo disponível de trabalho do pessoal responsável por cada rota seja aproveitado ao máximo, utilizando a capacidade máxima dos veículos, evitando o pagamento de pessoal parado.

O reaproveitamento de veículos é importante, pois o lixo é produzido diariamente nos domicílios e, geralmente, a coleta não é feita diariamente em todos os logradouros. A proposição de roteiros diários pode ser inviável em algumas cidades devido aos custos já mencionados anteriormente, mas a diminuição dos intervalos de frequência de atendimento ajuda a minimizar a quantidade de lixo exposto pelas ruas das cidades e, que conseqüentemente, podem contaminar o meio ambiente.

Para exemplificar, no município de Cariacica apenas o bairro de Campo Grande possui coleta de lixo domiciliar diariamente, inclusive aos domingos. Nos outros

bairros, a frequência varia de dois dias, conforme as condições de acesso ao bairro a ser atendido.

4.1. DESCRIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

A metodologia proposta nesta dissertação é dividida em três etapas: 1) a geração das rotas; 2) análise dos caminhões que cumpriram a carga horária de trabalho de equipe disponível (6 horas diárias) e, portanto não podem mais ser utilizados; 3) análise dos caminhões que atingiram sua capacidade máxima de toneladas, mas ainda possuem tempo disponível de equipe para continuar em outros roteiros.

O fluxograma da Figura 9 mostra o esquema da metodologia proposta.

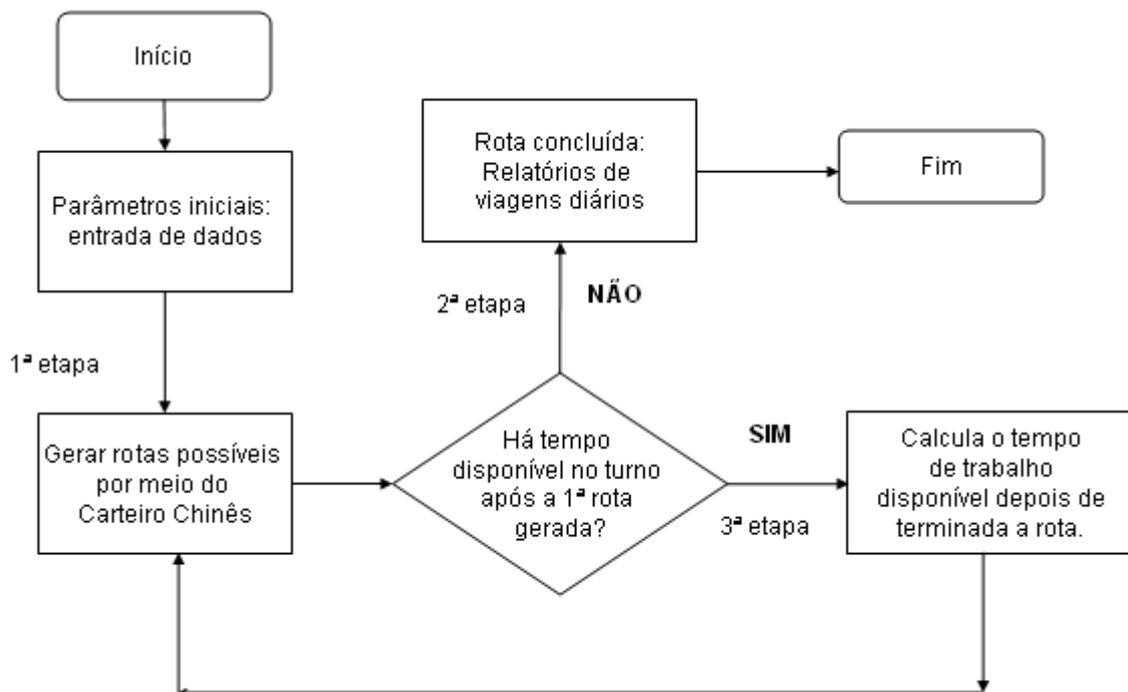


Figura 9. Algoritmo da Heurística proposta.

A metodologia tem início com a inserção de alguns parâmetros no banco de dados do TransCAD, listados a seguir:

- Nome dos logradouros de toda a região;
- Extensão da via, em metros, que geralmente é uma informação existente na base de dados por se tratar de georreferenciamento;
- Capacidade dos veículos;

- Velocidade do veículo quando realiza a coleta;
- Velocidade do veículo quando realiza a coleta e quando utiliza o logradouro como passagem, mas não realiza a coleta;
- Quantidade de lixo a ser coletado em cada logradouro. Esta é uma informação que pode ser obtida por meio do órgão responsável pela coleta de lixo na região estudada ou por estimativa, já que o volume de lixo coletado pode variar diariamente;
- Tempo gasto para realização do serviço em cada logradouro;
- Tempo gasto para percorrer um logradouro quando não há coleta a ser feita;
- Quantidade de domicílios em cada logradouro. Para as vias que necessitam do serviço de coleta esta informação será utilizada para estimar a quantidade de lixo a ser coletada no segmento;
- Identificação do bairro ao qual pertence cada logradouro;
- Identificação da garagem/depósito dos veículos.

Alguns desses parâmetros foram obtidos por meio da base de dados georreferenciada cedida pelo Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do Estado do Espírito Santo (GEOBASES), coordenado pelo Instituto Jones dos Santos Neves do Espírito Santo (IJSN-ES, 2008), que disponibilizou o mapa do município de Cariacica com suas principais características viárias.

Além de informações que já existiam na base de dados do GEOBASES, tais como extensão do logradouro (em metros), nome do logradouro, nome do bairro, ainda foram inseridos outros parâmetros necessários para o funcionamento da rotina no software: número de domicílios, velocidade do veículo, quantidade de lixo a ser coletado em cada logradouro, tempo gasto para coleta, entre outros.

Para calcular número de domicílios por logradouros foi utilizada a expressão

$$\frac{\text{extensão da via (metros)}}{7,5 \text{ metros}}, \text{ onde:}$$

7,5 é a metragem média adotada para o comprimento de frente de um terreno. Este valor servirá para calcular a quantidade de lixo coletada em cada logradouro.

Carvalho (2001) observou que a velocidade dos veículos quando realizam a coleta e quando havia a passagem no logradouro sem realização do serviço, são em média 20 e 40 km/h, respectivamente. Estas foram adotadas nesta dissertação.

O tempo, em horas, gasto pelo veículo para atravessar o arco/rua sem realizar o serviço.

$$\left(\frac{\text{extensão da via}}{\text{velocidade}} \right).$$

De modo análogo, calculou-se o tempo, em horas, gasto para coleta em cada rua foi calculado a partir da relação:

$$\left(\frac{\text{extensão da via}}{\text{velocidade}} + \text{tempo gasto para recolhimento} \right).$$

Para calcular o *tempo gasto para recolhimento* foi considerado que para cada 10 kg de lixo foram gastos 20 segundos para recolhimento. Assim, foi feito este cálculo a partir do volume total de resíduos a ser coletado em logradouro e acrescentado o valor a expressão acima.

O tempo de descarga foi apurado na prática em visitas a empresa e em média é de 15 minutos.

A quantidade de lixo gerada em cada logradouro foi estimada por meio do produto

$$(\text{número de domicílios} * 3,1 * 0,65 \text{ kg}), \text{ onde:}$$

3,1 é o número médio de habitantes por domicílio no Espírito Santo, segundo Pesquisa Nacional de Amostras por Domicílio – PNAD (2005) e 0,65 kg é a quantidade lixo gerado por habitante segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2000, IBGE (2002).

As rotas serão geradas de acordo com o algoritmo utilizado pelo software. Baseando-se na identificação dos logradouros, o algoritmo busca um conjunto de rotas que inclua todas as vias que possuam a demanda de coleta com o menor número de passagens por logradouros que não possuam serviço. Portanto, a

identificação de bairros/distritos será útil para que o usuário saiba como estas rotas serão construídas e quando esses bairros serão atendidos.

A segunda parte, composta pelas etapas 1, 2 e 3, é a análise das rotas propostas pelo software, considerando a capacidade de carga utilizada em cada rota e o tempo de trabalho que ainda resta para as equipes. Esse procedimento fornecerá um melhor aproveitamento das rotas considerando os tempos ainda restantes de uma determinada equipe após o cumprimento de uma rota inicialmente proposta.

Na etapa 1, para a escolha das rotas que iniciarão as atividades dos 10 caminhões em um determinado turno, é feita a organização de todas as rotas resultantes no TransCAD e observadas quais são as 10 que obtiveram o maior aproveitamento da capacidade do veículo, menor tempo de coleta e menor número de passagens por logradouros sem coleta de lixo.

Na Etapa 2 a rota termina porque chegou ao limite de tempo do turno da equipe, que geralmente é de 6 horas diárias, implica dizer que o caminhão utilizou todo o recurso mão de obra, não havendo como reaproveitá-los em outra rota. Então, deverá ser gerado o relatório de viagens diárias.

Selecionadas as 10 rotas que obedecem ao três critérios, é analisado o tempo gasto em cada rota proposta, se não houve sobra de tempo de serviço para alguma das equipes, passa-se para a Etapa 2. Em caso contrário, ainda havendo tempo disponível para trabalho, passa-se para a Etapa 3.

Na Etapa 3 a rota termina porque o caminhão atingiu a capacidade máxima de carga, existindo ainda tempo de trabalho disponível para a equipe que conduz o veículo e, conseqüentemente, tempo para dar continuidade a coleta de lixo. Desta forma, existe a possibilidade de reaproveitamento do veículo e os tempos disponíveis devem ser realocados para cada equipe.

Então, deverá ser computada a carga horária já trabalhada, a quantidade de horas que ainda resta para terminar o turno e o tempo gasto para descarga (incluindo ida e volta ao depósito), e uma nova rota deverá ser gerada com este tempo restante.

Como o tempo de rota é controlado manualmente, por meio dos resultados da heurística proposta, é possível que em alguns roteiros o tempo seja extrapolado. Então pode-se sugerir uma intervenção manual realocando/transferindo a coleta em logradouros que sejam atendidos neste intervalo de tempo maior que o permitido para outras rotas que ainda não tenham extrapolado as 6 horas diárias..

Esta rotina proposta pela metodologia se repetirá até que todos os resíduos sólidos domiciliares sejam coletados em todos os logradouros com demanda de serviço de coleta. Finalizando será proposto um cronograma de atendimento diário. A metodologia é aplicável a todo tipo de problema de roteirização em arco onde se deseja aproveitar ao máximo o turno de trabalho e a capacidade do veículo.

Capítulo 5 – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Para a aplicação da metodologia foram gerados sete grupos com 10 rotas resultantes, já que são utilizados 10 caminhões e 10 equipes. São 4 turnos diários e, conseqüentemente, 40 equipes que compõem diariamente a frota de veículos destinada a realização da atividade de coleta de resíduos sólidos domiciliares em todos os logradouros do município de Cariacica. As variáveis consideradas para a construção das análises dos resultados produzidos pelas rotas geradas foram os seguintes:

- **tco**: tempo de coleta, ou seja, tempo gasto percorrendo um logradouro com demanda de coleta, acrescentando-se o tempo gasto passando por logradouros sem a demanda, caso existam;
- **tgdp1**: tempo gasto para ir do depósito/garagem até o primeiro logradouro a ser atendido na rota (Figura 10);
- **tgruld**: tempo gasto para retornar do último logradouro a ser atendido na rota até o depósito/garagem (Figura 10);

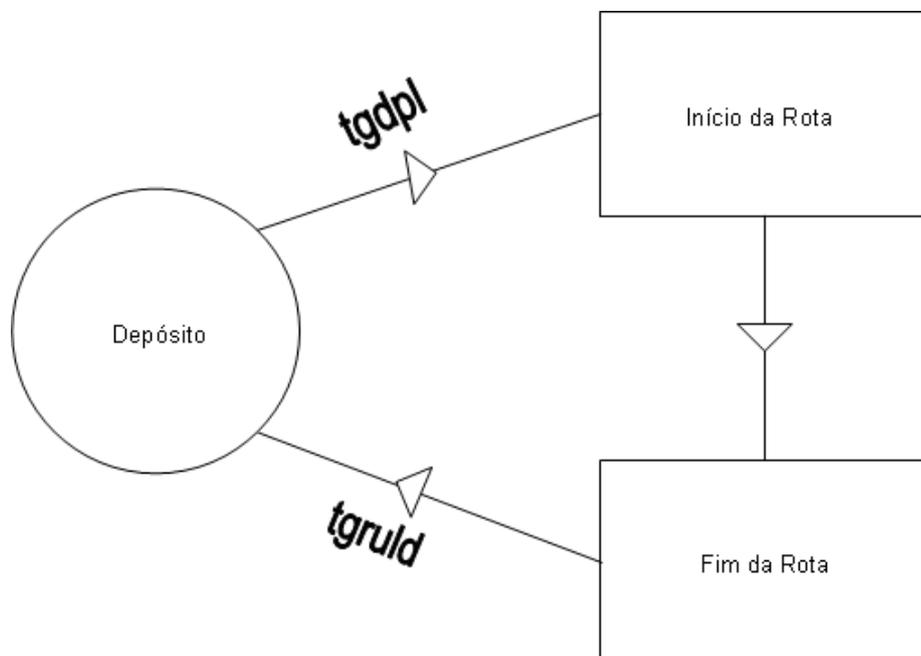
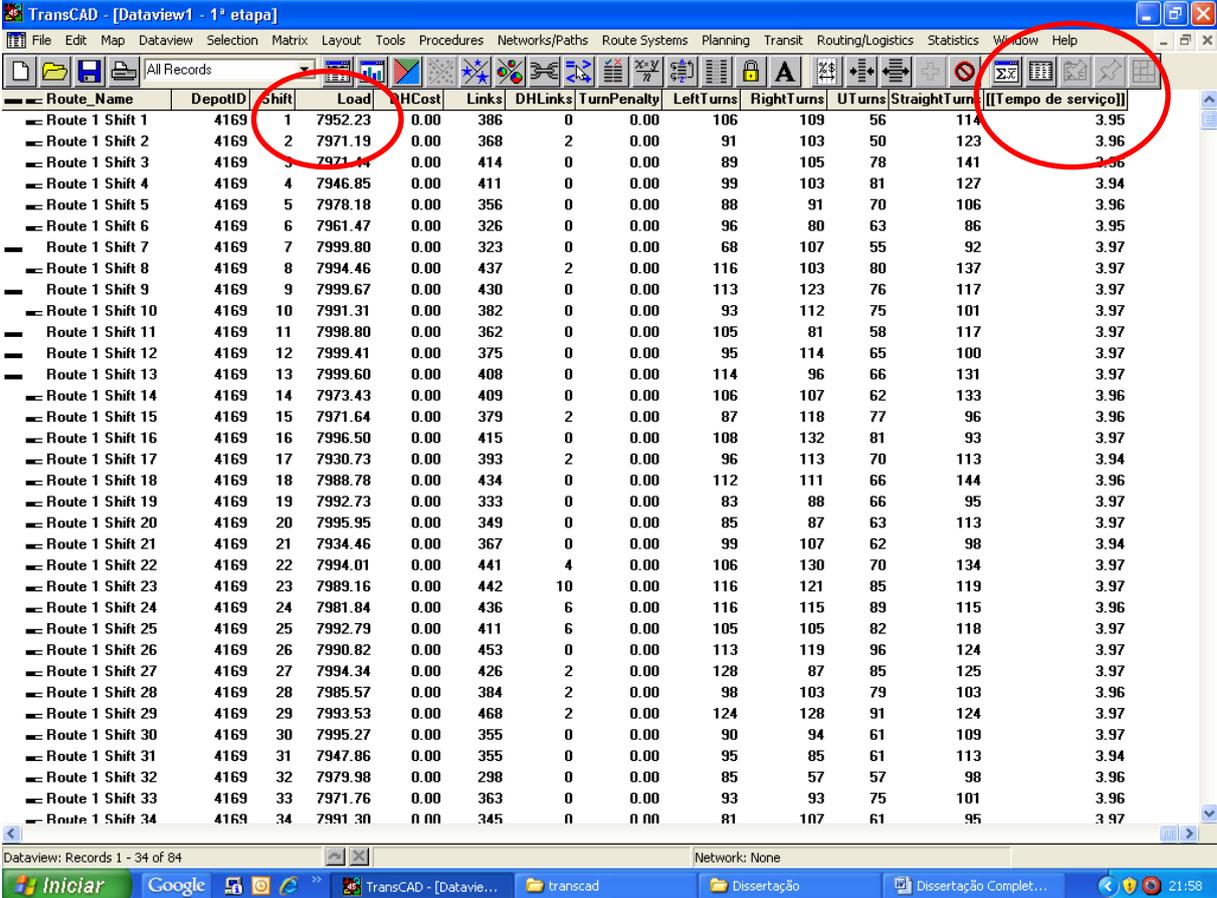


Figura 10. Tempos TGDPL e TGRULD.

- **tmdc**: tempo gasto para descarregar o caminhão;

- **tcoc**: tempo de coleta disponível a ser utilizado por uma equipe para complementar o turno de trabalho fazendo uma segunda viagem;
- **Tempo gasto pela equipe na 1ª fase**: $tco + tgdpl + tgruld + tmdc$;
- **Tempo gasto pela equipe na 2ª fase**: $tcoc + tgdpl + tgruld + tmdc$;
- **tte** (tempo total da equipe): *tempo gasto pela equipe na 1ª fase + tempo gasto pela equipe na 2ª fase.*

A variável **tco** é calculada após a geração das rotas e informada pelo TransCAD em um arquivo com os resultados da rotina *Arc Routing*, apresenta na Figura 11.



Route Name	DepotID	Shift	Load	HCost	Links	DHLinks	TurnPenalty	LeftTurns	RightTurns	UTurns	StraightTurns	[[Tempo de serviço]]
Route 1 Shift 1	4169	1	7952.23	0.00	386	0	0.00	106	109	56	114	3.95
Route 1 Shift 2	4169	2	7971.19	0.00	368	2	0.00	91	103	50	123	3.96
Route 1 Shift 3	4169	3	7971.14	0.00	414	0	0.00	89	105	78	141	3.96
Route 1 Shift 4	4169	4	7946.85	0.00	411	0	0.00	99	103	81	127	3.94
Route 1 Shift 5	4169	5	7978.18	0.00	356	0	0.00	88	91	70	106	3.96
Route 1 Shift 6	4169	6	7961.47	0.00	326	0	0.00	96	80	63	86	3.95
Route 1 Shift 7	4169	7	7999.80	0.00	323	0	0.00	68	107	55	92	3.97
Route 1 Shift 8	4169	8	7994.46	0.00	437	2	0.00	116	103	80	137	3.97
Route 1 Shift 9	4169	9	7999.67	0.00	430	0	0.00	113	123	76	117	3.97
Route 1 Shift 10	4169	10	7991.31	0.00	382	0	0.00	93	112	75	101	3.97
Route 1 Shift 11	4169	11	7998.80	0.00	362	0	0.00	105	81	58	117	3.97
Route 1 Shift 12	4169	12	7999.41	0.00	375	0	0.00	95	114	65	100	3.97
Route 1 Shift 13	4169	13	7999.60	0.00	408	0	0.00	114	96	66	131	3.97
Route 1 Shift 14	4169	14	7973.43	0.00	409	0	0.00	106	107	62	133	3.96
Route 1 Shift 15	4169	15	7971.64	0.00	379	2	0.00	87	118	77	96	3.96
Route 1 Shift 16	4169	16	7996.50	0.00	415	0	0.00	108	132	81	93	3.97
Route 1 Shift 17	4169	17	7930.73	0.00	393	2	0.00	96	113	70	113	3.94
Route 1 Shift 18	4169	18	7988.78	0.00	434	0	0.00	112	111	66	144	3.96
Route 1 Shift 19	4169	19	7992.73	0.00	333	0	0.00	83	88	66	95	3.97
Route 1 Shift 20	4169	20	7995.95	0.00	349	0	0.00	85	87	63	113	3.97
Route 1 Shift 21	4169	21	7934.46	0.00	367	0	0.00	99	107	62	98	3.94
Route 1 Shift 22	4169	22	7994.01	0.00	441	4	0.00	106	130	70	134	3.97
Route 1 Shift 23	4169	23	7989.16	0.00	442	10	0.00	116	121	85	119	3.97
Route 1 Shift 24	4169	24	7981.84	0.00	436	6	0.00	116	115	89	115	3.96
Route 1 Shift 25	4169	25	7992.79	0.00	411	6	0.00	105	105	82	118	3.97
Route 1 Shift 26	4169	26	7990.82	0.00	453	0	0.00	113	119	96	124	3.97
Route 1 Shift 27	4169	27	7994.34	0.00	426	2	0.00	128	87	85	125	3.97
Route 1 Shift 28	4169	28	7985.57	0.00	384	2	0.00	98	103	79	103	3.96
Route 1 Shift 29	4169	29	7993.53	0.00	468	2	0.00	124	128	91	124	3.97
Route 1 Shift 30	4169	30	7995.27	0.00	355	0	0.00	90	94	61	109	3.97
Route 1 Shift 31	4169	31	7947.86	0.00	355	0	0.00	95	85	61	113	3.94
Route 1 Shift 32	4169	32	7979.98	0.00	298	0	0.00	85	57	57	98	3.96
Route 1 Shift 33	4169	33	7971.76	0.00	363	0	0.00	93	93	75	101	3.96
Route 1 Shift 34	4169	34	7991.30	0.00	345	0	0.00	81	107	61	95	3.97

Figura 11. Resultados da tabela gerada pelo TransCAD que informa a carga coletada e **tco**.

Para encontrar os tempos **tgdpl** e **tgruld** foi necessário usar a rotina existente no TransCAD para cálculo dos Caminhos Mínimos entre os logradouros e o depósito/garagem e vice versa, pois o TransCAD faz o cálculo do **tco** sem incluir os tempos gastos para ir do depósito/garagem até o primeiro logradouro a ser atendido

na rota e para retornar do último logradouro a ser atendido na rota até ao depósito/garagem.

No TransCAD cada logradouro é identificado por um número atribuído pelo próprio software, chamado de número de identificação (ou ID_Logradouros). Os logradouros são os arcos/arestas da rede e são conectados por nós, que no TransCAD são chamados de *endpoints*.

Como para cada rota gerada o software fornece um arquivo em formato texto (.txt) baseando-se nos logradouros percorridos com seus respectivos identificadores, foi necessário encontrar os *endpoints* dos logradouros iniciais e finais de cada rota, pois a rotina de Caminhos Mínimos (*Shortest Path*) encontra o menor caminho baseando-se nos *endpoints* iniciais e finais de cada rota. Só assim foi possível conhecer os tempos **tgdpI** e **tgruld**.

A partir destas informações é possível encontrar o tempo disponível para complementar uma rota (**tcoc**).

Para utilizar o **tcoc** existe uma dificuldade, pois o software não permite que seja incluído o tempo ainda disponível para as novas rotas. Assim, foi necessário utilizar a restrição de número de rotas geradas disponível no TransCAD (Figura 12), observando o tempo para cada uma delas até que obtivemos rotas com tempos próximos aos disponíveis, considerando que ainda deveria ser somados os tempos **tgdpI** e **tgruld**.

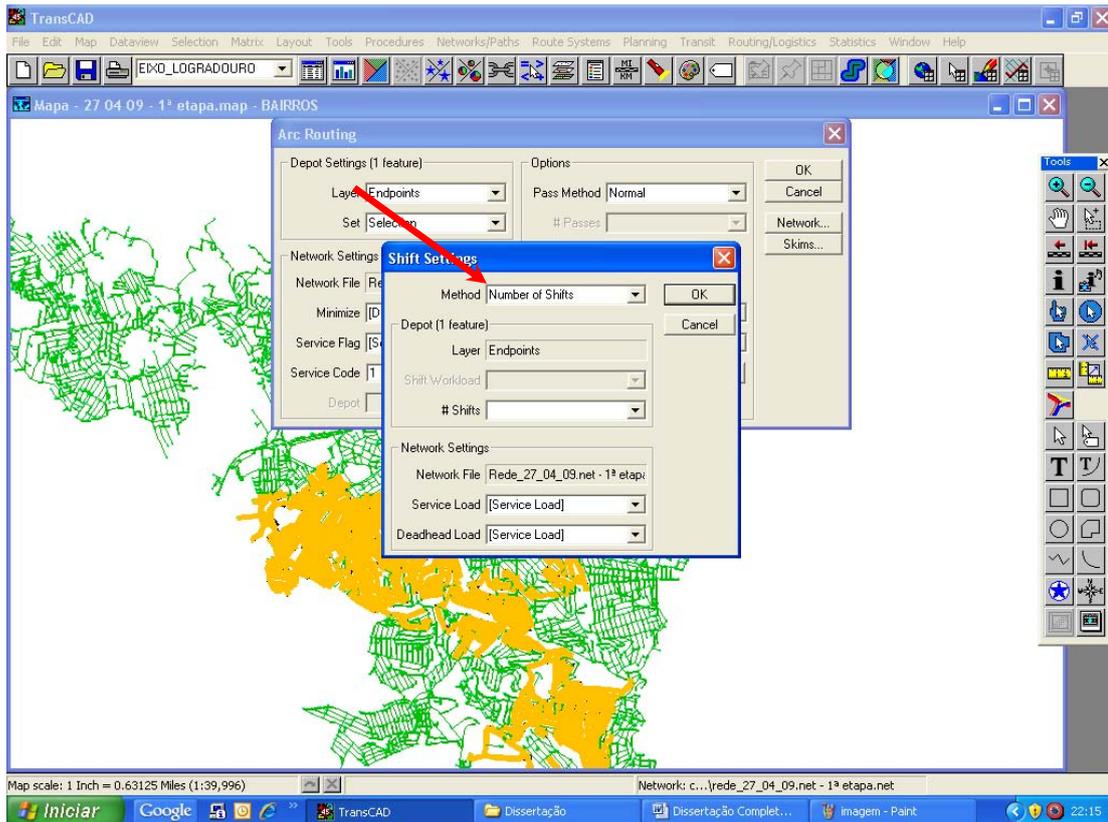


Figura 12. Cálculo do tempo **tcoc** pelo TransCAD feito 2ª fase para complementar os turnos.

O **tte** é considerado como controle para que não seja excedido o tempo de trabalho do turno de cada equipe, que é de 6 horas diárias, pois caso contrário será necessário pagamento de horas extras.

Além desses parâmetros, foi necessário considerar o tempo gasto por cada caminhão para descarregar o lixo coletado no depósito, já que é necessário o descarregamento do caminhão para dar continuidade à rota destinada àquela equipe. Assim, outra variável a ser considerada é o **tmdc**, que nesta dissertação foi apurado na empresa como sendo de 15 minutos.

Este tempo foi observado em visitas feitas a empresa Marca Ambiental, responsável pela coleta no município de Cariacica, no ano de 2007. A empresa possui um local no mesmo município para destinação dos resíduos domiciliares coletados onde são feitos os descarregamentos dos caminhões.

A partir desta idéia a geração de rotas por etapas foi organizada iniciando-se no turno da manhã e prosseguindo até que não haja mais logradouros a serem atendidos.

A seleção das rotas em cada grupo foi feita de acordo com o número de caminhões disponíveis, considerando os seguintes critérios:

- 1º) Rota com maior aproveitamento da carga máxima do caminhão;
- 2º) Rota de menor tempo de percurso total;
- 3º) Rota com o menor número de passagens por logradouros sem coleta de lixo.

Assim, é possível evitar que um veículo carregado circule por ruas nas quais ele não vai coletar lixo, pois isso pode levar a contaminação de lixo às ruas que não precisam ser atendidas.

5.1. DESCRIÇÃO DOS RESULTADOS DA METODOLOGIA PROPOSTA

Uma vez concluída a execução da metodologia, pode ser feita a análise do seu desempenho por meio dos resultados obtidos. Foram formados sete grupos e todos foram complementados por meio de uma 2ª fase de geração de rotas, pois ainda havia tempo disponível para as equipes responsáveis pela coleta.

A construção do grupo foi dividida em duas fases: a 1ª obedecendo aos três critérios estabelecidos que retornam as rotas como os logradouros atendidos e o tempo ainda disponível para a segunda viagem e, a 2ª fase complementa o grupo de acordo com o tempo disponível da equipe no turno para a próxima viagem do caminhão.

À medida que se avança na construção dos grupos, estes tempos vão aumentando na 1ª fase, já que as passagens por ruas sem a realização da coleta aumentam em consequência do número de logradouros atendidos em rotas anteriores.

A partir dos critérios estabelecidos aplicou-se a rotina *Arc Routing* do TransCAD, que na 1ª fase do grupo 1 resultou em 84 rotas, geradas simultaneamente, das

quais foram escolhidas 10, de acordo com o número de caminhões disponíveis e em função dos critérios estabelecidos.

O tempo gasto inicialmente por cada rota, considerando os critérios estabelecidos, era em média de 4 horas e meia, tendo ainda disponível cerca de 1 hora e meia para cada equipe. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 1. Resultados das rotas geradas para o GRUPO 1 – 1ª fase.

	Caminhões utilizados	Rotas Seleccionadas	Carga (kg)	Passagens por ruas sem coleta de lixo	Tempo de coleta em horas - TCO	Tempo gasto do depósito até o 1º logradouro - TGDPL	Tempo gasto do último logradouro até o depósito - TGRULD	Tempo gasto para descarregar o caminhão - TMDC	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE
1º GRUPO 84 rotas geradas	Caminhão 1	Rota 46	7999,91	0	3:58	00:17	00:17	00:15	04:47
	Caminhão 2	Rota 80	7999,86	0	3:58	00:07	00:04	00:15	04:24
	Caminhão 3	Rota 7	7999,80	0	3:58	00:06	00:06	00:15	04:25
	Caminhão 4	Rota 9	7999,67	0	3:58	00:09	00:04	00:15	04:26
	Caminhão 5	Rota 13	7999,60	0	3:58	00:07	00:10	00:15	04:30
	Caminhão 6	Rota 58	7999,46	0	3:58	00:12	00:13	00:15	04:38
	Caminhão 7	Rota 12	7999,41	0	3:58	00:03	00:15	00:15	04:31
	Caminhão 8	Rota 79	7999,38	2	3:58	00:07	00:06	00:15	04:26
	Caminhão 9	Rota 40	7998,87	0	3:58	00:07	00:06	00:15	04:26
	Caminhão 10	Rota 11	7998,80	0	3:58	00:10	00:03	00:15	04:26

Nesta 1ª fase o tempo gasto para realizar a coleta em todas as rotas foi de 3 horas e 58 minutos. A capacidade máxima do caminhão foi bem utilizada, em média 7.999,48 kg, sendo que a capacidade do caminhão é de 8.000 kg. Em apenas uma delas, houve passagem por ruas onde não havia demanda de serviço (rota 79).

A diferença entre os tempos totais de cada rota foi devido ao fato de que nenhuma delas teve início ou fim no logradouro onde está localizado o depósito implicando que os tempos **tgdppl** e **tgruld** fossem maiores que zero.

Para a 2ª fase, o tempo disponível para reaproveitamento do caminhão era em média de 1h30. Conforme descrito anteriormente, as rotas da 2ª fase foram geradas buscando tempos próximos a 50 minutos, pois os tempos **tgdppl**, **tgruld** e **tmdc** ainda deveriam ser somados e assim completar-se-ia o turno de serviço das equipes que estiveram nesta fase.

A quantidade de lixo coletada foi em média em torno de 1.626,70 kg e, com exceção da rota 68, todos os roteiros tinham o número de passagens por logradouros sem demanda igual a zero.

Como na 2ª fase o critério de seleção é em função do tempo ainda disponível para aproveitamento da equipe, a rota 68 foi escolhida por ser uma das 10 rotas com tempo mínimo de coleta e com maior aproveitamento da capacidade do veículo, mesmo com 44 passagens por logradouros já atendidos. Os resultados são apresentados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2. Rotas selecionadas para complementar o GRUPO 1 – 2ª fase.

	Caminhões utilizados	Rotas Selecionadas	Carga (kg)	Passagens por ruas sem coleta de lixo	Tempo de coleta em horas - TCO	Tempo gasto do depósito até o 1º logradouro - TGDPL	Tempo gasto do último logradouro até o depósito - TGRULD	Tempo gasto para descarregar o caminhão - TMDC	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE
Continuação do 1º GRUPO	Caminhão 1	Rota 341	1598,52	0	0:47	00:04	00:03	00:15	01:09
	Caminhão 2	Rota 350	1609,18	0	0:47	00:01	00:00	00:15	01:03
	Caminhão 3	Rota 296	1622,33	0	0:48	00:13	00:11	00:15	01:27
	Caminhão 4	Rota 243	1629,39	0	0:48	00:12	00:17	00:15	01:32
	Caminhão 5	Rota 79	1630,20	0	0:48	00:17	00:10	00:15	01:30
	Caminhão 6	Rota 319	1634,18	0	0:48	00:11	00:12	00:15	01:26
	Caminhão 7	Rota 18	1634,86	0	0:48	00:15	00:13	00:15	01:31
	Caminhão 8	Rota 250	1636,59	0	0:48	00:15	00:26	00:15	01:44
	Caminhão 9	Rota 144	1638,33	0	0:48	00:13	00:11	00:15	01:27
	Caminhão 10	Rota 68	1633,47	44	1:04	00:07	00:07	00:15	01:33

O resumo com a composição dos roteiros do Grupo 1 é apresentado na Tabela 3: o tempo total de trabalho da equipe e a quantidade total de lixo domiciliar coletado durante o turno de trabalho.

Tabela 3. Resultado do atendimento a ser feito pelos caminhões e suas equipes ao GRUPO 1.

RESUMO 1º GRUPO	Caminhões utilizados	Lixo coletado pela equipe	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE	TEMPO TOTAL DA EQUIPE
	Caminhão 1	9598,43	04:47	01:09	05:56
	Caminhão 2	9609,03	04:24	01:03	05:27
	Caminhão 3	9622,14	04:25	01:27	05:52
	Caminhão 4	9629,07	04:26	01:32	05:58
	Caminhão 5	9629,80	04:30	01:30	06:00
	Caminhão 6	9633,64	04:38	01:26	06:04
	Caminhão 7	9634,27	04:31	01:31	06:02
	Caminhão 8	9635,97	04:26	01:44	06:10
	Caminhão 9	9637,20	04:26	01:27	05:53
	Caminhão 10	9632,27	04:26	01:33	05:59

Em média o atendimento neste grupo retorna uma coleta diária de 9.626,18 kg, sendo 1.626,18 kg acima da capacidade do veículo, com tempo médio de 6h00. O reaproveitamento dos caminhões foi feito, porém o caminhão 8 extrapolou as 6 horas diárias em 10 minutos.

A fim de conseguir um maior aproveitamento da frota, sugere-se para esses caminhões que seja realizada uma interferência manual na solução gerada pela metodologia, visando transferir o grupo de logradouros que são atendidos neste tempo excedido para outras rotas que ainda possuam tempo disponível, uma vez que essa organização não é possível no TransCAD.

Para que fosse possível realizar a realocação da coleta de lixo de alguns logradouros para outro caminhão cuja equipe ainda tivesse tempo de turno disponível, foi necessário adotar alguns procedimentos quanto à carga e quanto ao tempo.

Quanto à carga:

1º) calculou-se a quantidade de lixo a ser coletada no tempo excedido por meio de regra de três. Por exemplo, a equipe do caminhão tem seu tempo de trabalho excedido em 10 minutos, ou seja, 6 horas (360 minutos) mais 10 minutos, que

resultam em 370 minutos. Por regra de três, concluí-se que esse tempo equivale a 260,43 kg, como segue:

$$\begin{aligned} 9635,97 \text{ kg} &\Rightarrow 370 \text{ minutos} \\ x &\Rightarrow 10 \text{ minutos} \quad ; \\ x &= 260,43 \text{ kg} \end{aligned}$$

2º) adicionou-se esta quantidade à carga do caminhão que recebeu a transferência, cuja escolha foi feita a partir do maior tempo de rota ainda disponível;

3º) diminuiu-se esta quantidade do volume de lixo que deveria ser coletado pelo caminhão que teve seu tempo máximo de rota excedido.

Quanto ao tempo:

1º) analisa-se quanto em tempo a rota foi extrapolada. Esse foi o tempo realocado para outra rota.

2º) então, diminuiu-se o tempo de rota excedido pelo caminhão que sofreu a intervenção e acrescentou-se ao caminhão que recebeu a realocação;

3º) calculou-se o menor caminho entre o último logradouro da rota na 2ª fase e o primeiro da rota que fora realocada, por meio da rotina de caminhos mínimos do TransCAD;

4º) desconsiderou-se o **tgruld** antigo e calculou-se o novo a partir do último logradouro da rota transferida.

A rota foi realocada para o caminhão 2. O tempo gasto para ir do logradouro que finalizava a 2ª fase até o início da rota realocada foi de 20 minutos. Então foram considerados mais 30 minutos para dar continuidade ao roteiro de atendimento do caminhão e o tempo **tgruld** foi de 16 minutos.

Outras realocações não foram feitas por serem consideradas de pouco impacto, devido aos tempos excedidos que eram muito pequenos, não ultrapassando cinco minutos.

Assim o tempo médio de rota diminuiu em 2 minutos passou a ser de 5h58 e permanecendo com o volume médio de lixo coletado por caminhão de 9.626,18 kg. O resultado final após a intervenção é apresentado a seguir na Tabela 4.

Tabela 4. Aproveitamento das equipes e dos caminhões no GRUPO 1 após a interferência.

RESUMO GRUPO 1	Caminhões utilizados	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE	Lixo coletado após a interferência	TEMPO TOTAL DA EQUIPE
	Caminhão 1	04:47	01:09	9598,43	05:56
	Caminhão 2	04:24	01:33	9869,46	05:57
	Caminhão 3	04:25	01:27	9622,14	05:52
	Caminhão 4	04:26	01:32	9629,07	05:58
	Caminhão 5	04:30	01:30	9629,80	06:00
	Caminhão 6	04:38	01:26	9633,64	06:04
	Caminhão 7	04:31	01:31	9634,27	06:02
	Caminhão 8	04:26	01:34	9375,54	06:00
	Caminhão 9	04:26	01:27	9637,20	05:53
	Caminhão 10	04:26	01:33	9632,27	05:59

Para viabilizar a segunda etapa de geração de rotas para a composição do itinerário das equipes do Grupo 2 foi necessário que as variáveis: *quantidade de lixo a ser coletado* e *tipo de serviço* fossem zeradas no banco de dados para que os logradouros já atendimentos nas rotas selecionadas no primeiro turno não fossem novamente incluídos na rotina.

Para a 1ª fase do 2º Grupo foram obtidas 71 rotas. Destaca-se que nesta etapa houve uma nova organização feita pelo próprio TransCAD no intuito de diminuir a quantidade de rotas geradas. As rotas 29, 8, 9, 44, 48, 57, 21, 38, 70 e 15 foram selecionadas para dar continuidade a metodologia, por serem as dez primeiras que se encaixavam nos três critérios estabelecidos, explicados anteriormente.

A Tabela 5 apresenta as rotas escolhidas para o 2º Grupo de trabalho, considerando os 10 caminhões disponíveis. Todos os logradouros continuam a fazer parte da rede de atendimento, porém àqueles já atendidos pelo Grupo 1 só são incluídos no roteiro quando fazem parte de um roteiro que reduz o percurso.

Tabela 5. Resultados das rotas geradas para o GRUPO 2 – 1ª fase.

	Caminhões utilizados	Rotas Seleccionadas	Carga (kg)	Passagens por ruas sem coleta de lixo	Tempo de coleta em horas - TCO	Tempo gasto do depósito até o 1º logradouro - TGDPL	Tempo gasto do último logradouro até o depósito - TGRULD	Tempo gasto para descarregar o caminhão - TMDC	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE
2º GRUPO 71 rotas geradas	Caminhão 1	Rota 29	7999,47	2	3:58	00:18	00:22	00:15	04:53
	Caminhão 2	Rota 8	7999,19	4	3:58	00:13	00:14	00:15	04:40
	Caminhão 3	Rota 9	7998,67	10	3:58	00:14	00:13	00:15	04:40
	Caminhão 4	Rota 44	7998,40	0	3:58	00:13	00:17	00:15	04:43
	Caminhão 5	Rota 48	7998,35	0	3:58	00:07	00:07	00:15	04:27
	Caminhão 6	Rota 57	7998,31	1	3:58	00:06	00:12	00:15	04:31
	Caminhão 7	Rota 21	7997,38	0	3:58	00:16	00:14	00:15	04:43
	Caminhão 8	Rota 38	7996,52	0	3:58	00:21	00:15	00:15	04:49
	Caminhão 9	Rota 70	7996,31	4	3:59	00:01	00:01	00:15	04:16
	Caminhão 10	Rota 15	7996,24	0	3:58	00:06	00:07	00:15	04:26

A capacidade máxima do caminhão foi bem utilizada, em média 7.997,9 kg. O tempo gasto para realizar a coleta em todas as rotas foi de 3 horas e 58 minutos e, das rotas seleccionadas, cinco delas possuíam logradouros com passagens por ruas onde não havia demanda de serviço (rotas 29, 8, 9, 57 e 70).

Isto se explica porque o TransCAD organiza a rota partindo dos logradouros mais próximos ao depósito até os mais distantes e os mais próximos já foram atendidos no 1º Grupo.

Para a 2ª fase que complementa este 2º Grupo foram geradas rotas que contemplam tempos próximos à disponibilidade das equipes, já que o número de passagens por ruas sem coleta de lixo aumentou, devido aos logradouros já atendidos anteriormente.

A carga de lixo coletada foi em média 1.299,3 kg. Os tempos destas rotas eram de 38 ou 39 minutos para que somados as variáveis **tgdppl**, **tgruld** e **tmdc**, fosse possível calcular os tempos finais e que são apresentados na Tabela 6 a seguir.

Tabela 6. Rotas selecionadas para complementar o GRUPO 2 – 2ª fase.

Continuação do 2º GRUPO	Caminhões utilizados	Rotas Selecionadas	Carga (kg)	Passagens por ruas sem coleta de lixo	Tempo de coleta em horas - TCO	Tempo gasto do depósito até o 1º logradouro - TGDPL	Tempo gasto do último logradouro até o depósito - TGRULD	Tempo gasto para descarregar o caminhão - TMDC	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE
	Caminhão 1	Rota 350	1230,81	0	0:36	00:01	00:00	00:15	00:52
	Caminhão 2	Rota 249	1302,31	0	0:38	00:12	00:13	00:15	01:18
	Caminhão 3	Rota 276	1306,39	0	0:38	00:07	00:11	00:15	01:11
	Caminhão 4	Rota 107	1287,17	2	0:38	00:17	00:08	00:15	01:18
	Caminhão 5	Rota 183	1308,52	0	0:38	00:04	00:06	00:15	01:03
	Caminhão 6	Rota 343	1309,23	0	0:38	00:01	00:04	00:15	00:58
	Caminhão 7	Rota 35	1310,55	0	0:39	00:06	00:10	00:15	01:10
	Caminhão 8	Rota 286	1311,77	0	0:39	00:08	00:08	00:15	01:10
	Caminhão 9	Rota 173	1311,79	0	0:39	00:05	00:06	00:15	01:05
	Caminhão 10	Rota 303	1314,14	0	0:39	00:12	00:12	00:15	01:18

Nesta complementação observa-se que das rotas geradas apenas a rota 107 tinha passagem por logradouros que não possuíam demanda de coleta.

As rotas estabelecidas para cada equipe de trabalho neste Grupo são apresentadas a seguir na Tabela 7, com seus respectivos tempos e volumes de resíduo a ser coletado.

Tabela 7. Resultado do atendimento a ser feito pelos caminhões e suas equipes ao GRUPO 2.

RESUMO GRUPO 2	Caminhões utilizados	Lixo coletado pela equipe	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE	TEMPO TOTAL DA EQUIPE
	Caminhão 1	9230,29	04:53	00:52	05:45
	Caminhão 2	9301,50	04:40	01:18	05:58
	Caminhão 3	9305,06	04:40	01:11	05:51
	Caminhão 4	9285,58	04:43	01:18	06:01
	Caminhão 5	9306,87	04:27	01:03	05:30
	Caminhão 6	9307,54	04:31	00:58	05:29
	Caminhão 7	9307,92	04:43	01:10	05:53
	Caminhão 8	9308,29	04:49	01:10	05:59
	Caminhão 9	9308,10	04:16	01:05	05:21
	Caminhão 10	9310,38	04:26	01:18	05:44

O volume médio de lixo coletado neste 2º Grupo foi de 9.297,15 kg e o tempo médio foi de 5h45. Destaca-se que este Grupo, em média, recolhe 1.297,15 kg de lixo a mais que a capacidade máxima de cada caminhão.

O reaproveitamento de caminhões neste turno foi feito com sucesso, não havendo necessidade de intervenção. O resultado final em o aproveitamento das equipes e dos caminhões disponíveis é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8. Aproveitamento das equipes e dos caminhões no GRUPO 2.

RESUMO GRUPO 2	Caminhões utilizados	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE	Lixo coletado pela equipe	TEMPO TOTAL DA EQUIPE
	Caminhão 1	04:53	00:52	9230,29	05:45
	Caminhão 2	04:40	01:18	9301,50	05:58
	Caminhão 3	04:40	01:11	9305,06	05:51
	Caminhão 4	04:43	01:18	9285,58	06:01
	Caminhão 5	04:27	01:03	9306,87	05:30
	Caminhão 6	04:31	00:58	9307,54	05:29
	Caminhão 7	04:43	01:10	9307,92	05:53
	Caminhão 8	04:49	01:10	9308,29	05:59
	Caminhão 9	04:16	01:05	9308,10	05:21
	Caminhão 10	04:26	01:18	9310,38	05:44

Para o Grupo 3, os logradouros já atendidos nos Grupos 1 e 2 tiveram os valores das variáveis: *quantidade de lixo a ser coletado* e *tipo de serviço* zerados e novamente a metodologia foi aplicada.

Iniciou-se a composição do Grupo 3 com a geração de 57 rotas. Como são dez caminhões disponíveis, foram selecionadas as 10 rotas que atendiam aos critérios estabelecidos anteriormente. São apresentadas a seguir na Tabela 9 as rotas selecionadas.

Tabela 9. Resultados das rotas geradas para o GRUPO 3 – 1ª fase.

	Caminhões utilizados	Rotas Seleccionadas	Carga (kg)	Passagens por ruas sem coleta de lixo	Tempo de coleta em horas - TCO	Tempo gasto do depósito até o 1º logradouro - TGDPL	Tempo gasto do último logradouro até o depósito - TGRULD	Tempo gasto para descarregar o caminhão - TMDC	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE
3º GRUPO 57 rotas geradas	Caminhão 1	Rota 54	7999,86	0	3:58	00:04	00:06	00:15	04:08
	Caminhão 2	Rota 49	7999,60	16	4:02	00:04	00:04	00:15	04:25
	Caminhão 3	Rota 45	7999,40	90	4:40	00:17	00:13	00:15	05:25
	Caminhão 4	Rota 29	7998,68	25	4:09	00:19	00:22	00:15	05:05
	Caminhão 5	Rota 46	7998,41	29	4:05	00:13	00:11	00:15	04:44
	Caminhão 6	Rota 47	7998,24	0	3:58	00:11	00:06	00:15	04:30
	Caminhão 7	Rota 51	7997,61	2	3:58	00:04	00:05	00:15	04:22
	Caminhão 8	Rota 26	7997,55	28	4:07	00:14	00:19	00:15	04:55
	Caminhão 9	Rota 24	7997,30	18	4:04	00:15	00:13	00:15	04:47
	Caminhão 10	Rota 2	7997,19	0	3:58	00:07	00:08	00:15	04:28

Observa-se que a capacidade máxima do caminhão foi bem utilizada em todas as rotas, em média 7.998,4 kg, que os tempos estão em torno de 4h40, já que a cada etapa o número de passagens por logradouros sem coleta está aumentando e o número de passagens por ruas sem coleta foi superior a 15, exceto nas rotas 54, 47 e 2, que foi zero.

Nessas três rotas propostas o principal objetivo desta metodologia foi atingido, aproveitamento ao máximo da capacidade do caminhão em um tempo mínimo e com o menor número de passagens por logradouros sem atendimento possível.

Observa-se ainda que quanto maior o número de passagens por logradouros já atendido em rotas anteriores, maior o tempo gasto, como acontece na rota 45 designada para o caminhão 3, onde este número é de 90 passagens e gastando 5h25 para realizar o percurso.

Ainda existindo tempo de trabalho disponível (em torno de 1h) para a equipe no Grupo, pode-se complementar as rotas de cada caminhão. As rotas que complementam este grupo foram seleccionadas conforme o critério estabelecido anteriormente para a 2ª fase e os menores tempos encontrados foram em torno de 29 minutos.

Aos tempos complementares na 2ª fase deve-se adicionar sempre os tempos **tgdppl**, **tgruld** e **tmdc**, e na Tabela 10 observa-se que alguns roteiros propostos extrapolam as 6 horas diárias das equipes. O volume médio de lixo coletado foi de 985,3 kg.

Tabela 10. Rotas selecionadas para complementar o GRUPO 3 – 2ª fase.

	Caminhões utilizados	Rotas Selecionadas	Carga (kg)	Passagens por ruas sem coleta de lixo	Tempo de coleta em horas - TCO	Tempo gasto do depósito até o 1º logradouro - TGDPL	Tempo gasto do último logradouro até o depósito - TGRULD	Tempo gasto para descarregar o caminhão - TMDC	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE
Continuação do 3º GRUPO	Caminhão 1	Rota 308	936,55	1	00:51	00:11	00:06	00:15	01:23
	Caminhão 2	Rota 346	981,62	0	0:29	00:26	00:04	00:15	01:14
	Caminhão 3	Rota 280	938,53	0	0:27	00:04	00:13	00:15	00:59
	Caminhão 4	Rota 97	989,69	0	0:29	00:04	00:07	00:15	00:55
	Caminhão 5	Rota 80	991,35	0	0:29	00:05	00:11	00:15	01:00
	Caminhão 6	Rota 160	1000,31	0	0:29	00:06	00:06	00:15	00:56
	Caminhão 7	Rota 231	1000,63	0	0:29	00:16	00:05	00:15	01:05
	Caminhão 8	Rota 94	1004,41	0	0:29	00:03	00:19	00:15	01:06
	Caminhão 9	Rota 38	1004,43	0	0:29	00:12	00:13	00:15	01:09
	Caminhão 10	Rota 28	1005,49	0	0:29	00:09	00:08	00:15	01:01

O volume médio de lixo coletado no Grupo 3 foi de 8.983,69 kg, sendo coletado em média 983,69 kg a mais por caminhão, e o tempo médio foi de 5h45. O resumo com o resultado final para o 3º Grupo está na Tabela 11 onde são apresentados o tempo total de trabalho da equipe e a quantidade total de lixo domiciliar coletado durante o turno de trabalho.

Tabela 11. Resultado do atendimento a ser feito pelos caminhões e suas equipes ao GRUPO 3.

	Caminhões utilizados	Lixo coletado pela equipe	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE	TEMPO TOTAL DA EQUIPE
RESUMO 3º GRUPO	Caminhão 1	8936,41	04:08	01:23	05:31
	Caminhão 2	8981,22	04:25	01:14	05:39
	Caminhão 3	8937,93	05:25	00:59	06:24
	Caminhão 4	8988,37	05:05	00:55	06:00
	Caminhão 5	8989,76	04:44	01:00	05:44
	Caminhão 6	8998,54	04:30	00:56	05:26
	Caminhão 7	8998,24	04:22	01:05	05:27
	Caminhão 8	9001,96	04:55	01:06	06:01
	Caminhão 9	9001,73	04:47	01:09	05:56
	Caminhão 10	9002,68	04:28	01:01	05:29

O caminhão 3 ultrapassou o tempo máximo da jornada de trabalho da sua equipe e sugere-se que a interferência manual seja feita conforme descrito para o Grupo 1.

Do caminhão 3 serão deslocados para a rota a ser atendida pelo caminhão 1 a carga de 558,62 kg de lixo a ser coletado nos logradouros que seriam atendidos nesses 24 minutos restantes. O caminhão 1 foi escolhido para a realocação por ser o que possui menor tempo de rota: 5h07.

Analisando o tempo de rota na 2ª fase, conclui-se que a melhor solução era transferir toda a rota a ser feita pelo caminhão 3 na 2ª fase para o caminhão 1, pois o tempo de rota excedente era muito próximo ao tempo total de rota na 2ª fase. Encontrou-se o tempo gasto para ir do último logradouro da rota até o 1º da que foi realocada e depois o tempo **gruld**.

O caminhão 3 passou a não ter mais 2ª fase. O volume médio coletado permaneceu o mesmo: 8.983,69, porém o tempo médio gasto para realizar a coleta diminuiu, 5h37. Os resultados estão na Tabela 12. Considera-se que o reaproveitamento de caminhões neste turno foi feito com sucesso.

Tabela 12. Aproveitamento das equipes e dos caminhões no GRUPO 3 após a interferência.

RESUMO GRUPO 3	Caminhões utilizados	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE	Lixo coletado após a interferência	TEMPO TOTAL DA EQUIPE
	Caminhão 1	04:08	01:28	9495,03	05:07
	Caminhão 2	04:25	01:14	8981,22	05:39
	Caminhão 3	05:25	-	8379,31	05:25
	Caminhão 4	05:05	00:55	8988,37	06:00
	Caminhão 5	04:44	01:00	8989,76	05:44
	Caminhão 6	04:30	00:56	8998,54	05:26
	Caminhão 7	04:22	01:05	8998,24	05:27
	Caminhão 8	04:55	01:06	9001,96	06:01
	Caminhão 9	04:47	01:09	9001,73	05:56
	Caminhão 10	04:28	01:01	9002,68	05:29

Finalizando este Grupo, iniciou-se a construção das rotas para o 4º Grupo. No banco de dados, as variáveis: *quantidade de lixo coletada* e *tipo de serviço* foram zerados e aplicou-se novamente a metodologia. Foram obtidas 44 rotas e selecionadas 10, de acordo com os critérios estabelecidos, que são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Resultados das rotas geradas para o GRUPO 4 – 1ª fase.

	Caminhões utilizados	Rotas Selecionadas	Carga (kg)	Passagens por ruas sem coleta de lixo	Tempo de coleta em horas - TCO	Tempo gasto do depósito até o 1º logradouro - TGDPL	Tempo gasto do último logradouro até o depósito - TGRULD	Tempo gasto para descarregar o caminhão - TMDC	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE
4º GRUPO 44 rotas geradas	Caminhão 1	Rota 27	7998,97	98	4:31	00:09	00:18	00:15	05:13
	Caminhão 2	Rota 23	7998,78	20	4:06	00:15	00:09	00:15	04:45
	Caminhão 3	Rota 9	7998,48	43	4:10	00:15	00:12	00:15	04:52
	Caminhão 4	Rota 33	7998,33	4	4:00	00:09	00:09	00:15	04:33
	Caminhão 5	Rota 12	7998,13	32	4:12	00:12	00:14	00:15	04:53
	Caminhão 6	Rota 19	7997,69	8	4:02	00:26	00:25	00:15	05:08
	Caminhão 7	Rota 38	7997,03	50	4:17	00:09	00:09	00:15	04:50
	Caminhão 8	Rota 8	7996,20	109	4:39	00:17	00:10	00:15	05:21
	Caminhão 9	Rota 28	7994,11	123	4:40	00:18	00:04	00:15	05:17
	Caminhão 10	Rota 24	7993,79	4	4:02	00:09	00:07	00:15	04:33

O primeiro critério foi atendido, que é o de aproveitamento máximo da carga do caminhão. A carga média coleta foi 7.997,15 kg. Os tempos de coleta vão aumentando cada vez mais em consequência do aumento do número de passagens por logradouros sem coleta, que nesta fase foi diferente de zero em todas as rotas, destacando-se as rotas 8, 27e 28, que tiveram um quantitativo bem superior as demais.

Isso se deve ao fato de que o algoritmo utilizado pelo TransCAD propõe o agrupamento dos logradouros mais próximos e a metodologia tem como primeiro critério o aproveitamento máximo da capacidade dos veículos. Como já existem vários logradouros atendidos, a rotina busca atender aos logradouros ainda sem atendimentos agrupando-os de forma que a proximidade entre eles e a capacidade máxima sejam consideradas.

Sendo assim, um número de passagens por logradouros já atendidos a partir de um dado momento faz-se necessária para que esse conjunto seja possível. O tempo disponível de cada equipe para complementação das rotas variou. Em algumas

rotas, como as de número 8, 19, 27 e 28, tiveram tempo de coleta superior a 5 horas, restando tempos pequenos para a 2ª fase. Os resultados obtidos na 2ª fase estão na Tabela 14.

Tabela 14. Rotas selecionadas para complementar o GRUPO 4 – 2ª fase.

Continuação do 4º GRUPO	Caminhões utilizados	Rotas Selecionadas	Carga (kg)	Passagens por ruas sem coleta de lixo	Tempo de coleta em horas - TCO	Tempo gasto do depósito até o 1º logradouro - TGDPL	Tempo gasto do último logradouro até o depósito - TGRULD	Tempo gasto para descarregar o caminhão - TMDC	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE
	Caminhão 1	Rota 350	486,21	3	0:15	00:01	00:18	00:15	00:49
	Caminhão 2	Rota 165	676,72	1	0:20	00:15	00:09	00:15	00:59
	Caminhão 3	Rota 225	689,89	4	0:20	00:22	00:12	00:15	01:09
	Caminhão 4	Rota 184	696,61	0	0:20	00:25	00:09	00:15	01:09
	Caminhão 5	Rota 111	697,15	0	0:20	00:04	00:14	00:15	00:53
	Caminhão 6	Rota 15	701,90	0	0:20	00:04	00:10	00:15	00:49
	Caminhão 7	Rota 189	699,72	0	0:20	00:22	00:09	00:15	01:06
	Caminhão 8	Rota 109	701,95	0	0:20	00:07	00:05	00:15	00:47
	Caminhão 9	Rota 14	704,00	0	0:20	00:03	00:04	00:15	00:42
Caminhão 10	Rota 204	705,40	0	0:21	00:25	00:07	00:15	01:08	

As rotas selecionadas para complementar o 4º Grupo tiveram tempos de coleta próximos a 20 minutos. Em alguns casos as variáveis **tgdp** e **tgruld** foram superiores ao tempo de coleta (**tco**), pois o roteiro proposto não é próximo ao depósito e o tempo gasto para ir e voltar foi superior ao tempo de coleta. Destaca-se também que em nenhuma das rotas a carga coletada foi superior a 800 kg. O roteiro final deste Grupo está apresentado na Tabela 15.

Tabela 15. Resultado do atendimento a ser feito pelos caminhões e suas equipes ao GRUPO 4.

RESUMO 4º GRUPO	Caminhões utilizados	Lixo coletado pela equipe	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE	TEMPO TOTAL DA EQUIPE
	Caminhão 1	8485,18	05:13	00:49	06:02
	Caminhão 2	8675,49	04:45	00:59	05:44
	Caminhão 3	8688,37	04:52	01:09	06:01
	Caminhão 4	8694,94	04:33	01:09	05:42
	Caminhão 5	8695,28	04:53	00:53	05:46
	Caminhão 6	8699,59	05:08	00:49	05:57
	Caminhão 7	8696,75	04:50	01:06	05:56
	Caminhão 8	8698,15	05:21	00:47	06:08
	Caminhão 9	8698,11	05:17	00:42	05:59
Caminhão 10	8699,19	04:33	01:08	05:41	

O volume médio coletado foi de 8.673,10 kg com tempo médio de coleta para todo o turno de 5h56. Neste Grupo apenas o caminhão 8 ultrapassou a carga horária limite de trabalho foi feito o remanejamento deste grupo de logradouros que são atendidos no tempo excedido, para o caminhão 10. Conforme o procedimento descrito anteriormente, a transferência foi feita e apresentada na Tabela 16.

Tabela 16. Aproveitamento das equipes e dos caminhões no GRUPO 4 após a interferência.

RESUMO GRUPO 4	Caminhões utilizados	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE	Lixo coletado após a interferência	TEMPO TOTAL DA EQUIPE
	Caminhão 1	05:13	00:49	8485,18	06:02
	Caminhão 2	04:45	00:59	8675,49	05:44
	Caminhão 3	04:52	01:09	8688,37	06:01
	Caminhão 4	04:33	01:09	8694,94	05:42
	Caminhão 5	04:53	00:53	8695,28	05:46
	Caminhão 6	05:08	00:49	8699,59	05:57
	Caminhão 7	04:50	01:06	8696,75	05:56
	Caminhão 8	05:21	00:41	8509,41	06:02
	Caminhão 9	05:17	00:42	8698,11	05:59
	Caminhão 10	04:33	01:23	8888,24	05:56

O volume médio de lixo coletado permanece inalterado já que houve apenas um deslocamento de demanda, 8.673,10 kg. O tempo médio de rota diminuiu em 2 minutos (5h54).

Diariamente é possível organizar os atendimentos em quatro turnos. No entanto os quatro Grupos construídos até o momento não atendem a todos os logradouros do município. Devido a este fato, a construção dos Grupos será continuada até que não haja mais demanda de atendimento, considerando a jornada de trabalho máxima das equipes de 6 horas e a disponibilidade de 10 caminhões como nos outros Grupos.

Sendo assim não se sabe ainda quantos Grupos serão necessários para que toda a rede seja atendida durante a semana. A metodologia será aplicada até que todos os

logradouros ainda sem atendimento tenham a coleta feita e a partir daí será analisado o resultado da metodologia e proposto um cronograma de atendimento com os grupos obtidos.

Dando continuidade a construção dos grupos com os logradouros que ainda não foram atendidos, foi aplicada a metodologia que retornou 31 rotas e os resultados são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Resultados das rotas geradas para o GRUPO 5 – 1ª fase.

5º GRUPO 31 rotas geradas	Caminhões utilizados	Rotas Seleccionadas	Carga (kg)	Passagens por ruas sem coleta de lixo	Tempo de coleta em horas - TCO	Tempo gasto do depósito até o 1º logradouro - TGDPL	Tempo gasto do último logradouro até o depósito - TGRULD	Tempo gasto para descarregar o caminhão - TMDC	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE
	Caminhão 1	Rota 18	7999,91	40	4:15	00:03	00:03	00:15	04:36
	Caminhão 2	Rota 16	7997,83	122	4:59	00:10	00:04	00:15	05:28
	Caminhão 3	Rota 8	7997,13	151	5:22	00:05	00:20	00:15	06:02
	Caminhão 4	Rota 22	7996,19	34	4:08	00:07	00:15	00:15	04:45
	Caminhão 5	Rota 6	7996,03	175	5:14	00:06	00:18	00:15	05:53
	Caminhão 6	Rota 24	7995,53	118	4:48	00:15	00:12	00:15	05:30
	Caminhão 7	Rota 7	7994,55	90	4:35	00:18	00:12	00:15	05:20
	Caminhão 8	Rota 25	7994,44	18	4:01	00:12	00:10	00:15	04:38
	Caminhão 9	Rota 26	7991,72	79	4:26	00:06	00:02	00:15	04:49
	Caminhão 10	Rota 19	7990,50	11	4:03	00:02	00:07	00:15	04:27

O critério de aproveitamento da carga máxima foi atendido, em média o volume de lixo coletado foi de 7.995,4 kg. Em todos os casos o número de passagens por ruas sem coleta de resíduo é diferente de zero e com isso o tempo de coleta aumenta consideravelmente.

As equipes responsáveis pelos caminhões 3 e 5, que atendem as rotas 8 e 6, respectivamente, já atingem o tempo disponível de trabalho. Estes caminhões não necessitam de complementação em seus roteiros.

O tempo necessário para complementar as rotas começa a se tornar muito pequeno, diminuindo assim a quantidade de lixo coletada. A complementação destas rotas é apresentada na Tabela 18.

Os tempos de coleta foram em torno de 15 minutos e a carga coletada próxima a 500 kg. Deve-se analisar a viabilidade de um caminhão dar continuidade a uma rota

com um tempo tão restrito. Isso deve ser decidido pelo corpo técnico da empresa responsável pela coleta.

Tabela 18. Rotas selecionadas para complementar o GRUPO 5 – 2ª fase.

	Caminhões utilizados	Rotas Selecionadas	Carga (kg)	Passagens por ruas sem coleta de lixo	Tempo de coleta em horas - TCO	Tempo gasto do depósito até o 1º logradouro - TGDPL	Tempo gasto do último logradouro até o depósito - TGRULD	Tempo gasto para descarregar o caminhão - TMDC	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE
Continuação do 5º GRUPO	Caminhão 1	Rota 76	485,37	0	0:14	00:26	00:27	00:15	01:22
	Caminhão 2	Rota 257	486,43	2	0:14	00:09	00:09	00:15	00:47
	Caminhão 3								
	Caminhão 4	Rota 55	499,27	0	0:14	00:23	00:21	00:15	01:13
	Caminhão 5								
	Caminhão 6	Rota 252	500,10	0	0:14	00:07	00:07	00:15	00:43
	Caminhão 7	Rota 131	499,05	1	0:14	00:04	00:05	00:15	00:38
	Caminhão 8	Rota 187	506,45	0	0:15	00:06	00:07	00:15	00:43
	Caminhão 9	Rota 36	506,50	0	0:15	00:11	00:27	00:15	01:08
	Caminhão 10	Rota 74	507,93	0	0:15	00:07	00:26	00:15	01:03

O resultado final para este Grupo está na Tabela 19, onde são apresentados o tempo total de trabalho da equipe e a quantidade total de lixo domiciliar coletado durante o turno de trabalho.

Observa-se que os caminhões 2, 4, 6 e 9 extrapolam o tempo máximo de trabalho de suas respectivas equipes.

Tabela 19. Resultado do atendimento a ser feito pelos caminhões e suas equipes ao GRUPO 5.

	Caminhões utilizados	Lixo coletado pela equipe	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE	TEMPO TOTAL DA EQUIPE
RESUMO 5º GRUPO	Caminhão 1	8485,28	04:36	01:22	05:58
	Caminhão 2	8484,25	05:28	00:47	06:15
	Caminhão 3	7997,13	06:02	00:00	06:02
	Caminhão 4	8495,47	04:45	01:13	05:58
	Caminhão 5	7996,03	05:53	00:00	05:53
	Caminhão 6	8495,63	05:30	00:43	06:13
	Caminhão 7	8493,60	05:20	00:38	05:58
	Caminhão 8	8500,90	04:38	00:43	05:21
	Caminhão 9	8498,22	04:49	01:08	05:57
	Caminhão 10	8498,43	04:27	01:03	05:30

Pode-se trabalhar a realocação dos logradouros atendidos em intervalos de tempo que ultrapassam a carga horária após complementação deste Grupo na 2ª fase. Fez-se isso para os caminhões 2 e 6, que tiveram as cargas referentes aos seus tempos excedidos transferidas para os caminhões 8 e 10, respectivamente. Os resultados obtidos estão na Tabela 20.

Tabela 20. Aproveitamento das equipes e dos caminhões no GRUPO 5 após a interferência.

RESUMO GRUPO 5	Caminhões utilizados	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE	Lixo coletado após a interferência	TEMPO TOTAL DA EQUIPE
	Caminhão 1	04:36	01:22	8485,28	05:58
	Caminhão 2	05:28	00:30	8144,88	05:58
	Caminhão 3	06:02	00:00	7997,13	06:02
	Caminhão 4	04:45	01:13	8495,47	05:58
	Caminhão 5	05:53	00:00	7996,03	05:53
	Caminhão 6	05:30	00:33	8199,54	06:03
	Caminhão 7	05:20	00:38	8493,60	05:58
	Caminhão 8	04:38	01:12	8840,59	05:50
	Caminhão 9	04:49	01:08	8498,22	05:57
	Caminhão 10	04:27	01:26	8794,52	05:53

Após a intervenção a média de carga coletada permanece a mesma (8.394,53 kg), pois as cargas foram apenas deslocadas, mas a soma total continua a mesma.

O tempo médio gasto por cada caminhão aumentou em três minutos. Era de 5h54 e foi para 5h57. Isto se explica porque na rota deslocada para o caminhão 10 o tempo **tgruld** foi de 30 minutos, já que o último logradouro se encontra distante do depósito.

Ainda restam logradouros sem atendimento e novamente foi aplicada a metodologia. Os resultados podem ser vistos na Tabela 21.

Tabela 21. Resultados das rotas geradas para o GRUPO 6 – 1ª fase.

	Caminhões utilizados	Rotas Seleccionadas	Carga (kg)	Passagens por ruas sem coleta de lixo	Tempo de coleta em horas - TCO	Tempo gasto do depósito até o 1º logradouro - TGDPL	Tempo gasto do último logradouro até o depósito - TGRULD	Tempo gasto para descarregar o caminhão - TMDC	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE
6º GRUPO 19 rotas geradas	Caminhão 1	Rota 14	7999,79	68	4:32	00:22	00:20	00:15	05:29
	Caminhão 2	Rota 11	7999,75	152	5:00	00:04	00:03	00:15	05:22
	Caminhão 3	Rota 16	7998,88	101	4:53	00:28	00:22	00:15	05:58
	Caminhão 4	Rota 1	7998,61	29	4:21	00:00	00:07	00:15	04:43
	Caminhão 5	Rota 13	7997,09	126	5:14	00:13	00:20	00:15	06:02
	Caminhão 6	Rota 17	7994,29	58	4:40	00:22	00:26	00:15	05:43
	Caminhão 7	Rota 10	7991,16	8	4:03	00:06	00:03	00:15	04:27
	Caminhão 8	Rota 7	7990,83	152	5:00	00:05	00:00	00:15	05:20
	Caminhão 9	Rota 4	7990,30	27	4:09	00:08	00:07	00:15	04:39
	Caminhão 10	Rota 6	7989,88	61	4:41	00:13	00:05	00:15	05:14

A capacidade máxima do caminhão foi bem utilizada. As rotas geradas tiveram tempos de coleta superior a 5 horas como no turno anterior, com exceção dos roteiros 1, 4 e 10. Novamente, deve-se ter atenção ao tempo que será necessário para complementação.

Os caminhões 3 e 5 já atingiram o tempo máximo de trabalho da equipe e, portanto, não poderão ser incluídos para a geração de rotas complementares. Os resultados estão dispostos a seguir na Tabela 22.

Tabela 22. Rotas seleccionadas para complementar o GRUPO 6 – 2ª fase.

	Caminhões utilizados	Rotas Seleccionadas	Carga (kg)	Passagens por ruas sem coleta de lixo	Tempo de coleta em horas - TCO	Tempo gasto do depósito até o 1º logradouro - TGDPL	Tempo gasto do último logradouro até o depósito - TGRULD	Tempo gasto para descarregar o caminhão - TMDC	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE
Continuação do 6º GRUPO	Caminhão 1	Rota 195	291,86	0	0:08	00:04	00:04	00:15	00:31
	Caminhão 2	Rota 17	273,16	0	0:08	00:10	00:10	00:15	00:43
	Caminhão 3								
	Caminhão 4	Rota 30	292,83	0	0:08	00:24	00:24	00:15	01:11
	Caminhão 5								
	Caminhão 6	Rota 32	295,87	0	0:08	00:25	00:23	00:15	01:11
	Caminhão 7	Rota 45	296,43	0	0:08	00:24	00:24	00:15	01:11
	Caminhão 8	Rota 113	299,64	0	0:08	00:08	00:08	00:15	00:39
	Caminhão 9	Rota 63	298,41	0	0:08	00:27	00:27	00:15	01:17
	Caminhão 10	Rota 56	296,87	0	0:08	00:27	00:27	00:15	01:17

O tempo gasto para complementar as rotas foi inferior a 10 minutos. Na maioria dos casos gastou-se mais tempo indo ou vindo do depósito do que realizando a coleta. Isso se deve ao fato de que o atendimento do serviço de coleta de lixo domiciliar já

aconteceu para a maioria dos logradouros e os que ainda não tiveram atendimento possuem localização distante do depósito.

Este fato implica diretamente em um volume de carga coletada pequeno, que neste caso não superou os 300 kg, apesar de não haver nenhum dos roteiros passagens por ruas sem demanda.

O resultado final para este Grupo e o tempo total de trabalho de cada equipe e a quantidade total de lixo domiciliar coletado durante o turno de trabalho estão dispostos na Tabela 23.

Nesta Tabela 23 observa-se que o caminhão 6 ultrapassa em 54 minutos o tempo de trabalho disponível para a equipe responsável e o caminhão 10, em 31 minutos, o que implicou em um tempo médio total gasto para a realização do serviço de 6h03, superior a todos os outros Grupos.

Assim, a sugestão é que a realocação seja feita no próximo turno caso haja tempo disponível, já que neste Grupo todos os caminhões possuem tempo de coleta próximo às 6 horas diárias.

Tabela 23. Resultado do atendimento a ser feito pelos caminhões e suas equipes ao GRUPO 6.

RESUMO 6º GRUPO	Caminhões utilizados	Lixo coletado pela equipe	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE	TEMPO TOTAL DA EQUIPE
	Caminhão 1	8291,65	05:29	00:31	06:00
	Caminhão 2	8272,91	05:22	00:43	06:05
	Caminhão 3	7998,88	05:58	-	05:58
	Caminhão 4	8291,43	04:43	01:11	05:54
	Caminhão 5	7997,09	06:02	-	06:02
	Caminhão 6	8290,16	05:43	01:11	06:54
	Caminhão 7	8287,59	04:27	01:11	05:38
	Caminhão 8	8290,47	05:20	00:39	05:59
	Caminhão 9	8288,71	04:39	01:17	05:56
	Caminhão 10	8286,75	05:14	01:17	06:31

A Tabela 24 apresenta parte da inferência feita onde foram retirados os tempos excedidos pelas equipes dos caminhões 6 e 10, onde foi retirada do caminhão 6 a carga de 1.081,32 kg de lixo e do caminhão 10 serão 657 kg. O tempo médio de rota passou a ser de 5h56 e carga média coletada foi 8.055,73 kg.

Tabela 24. Aproveitamento das equipes e dos caminhões no GRUPO 6 após a interferência.

RESUMO GRUPO 6	Caminhões utilizados	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE	Tempo gasto pela Equipe - 2ª FASE	Lixo coletado após a interferência	TEMPO TOTAL DA EQUIPE
	Caminhão 1	05:29	00:31	8291,65	06:00
	Caminhão 2	05:22	00:43	8272,91	06:05
	Caminhão 3	05:58	-	7998,88	05:58
	Caminhão 4	04:43	01:11	8291,43	05:54
	Caminhão 5	06:02	-	7997,09	06:02
	Caminhão 6	05:57	-	7208,83	05:57
	Caminhão 7	04:27	01:11	8287,59	05:38
	Caminhão 8	05:20	00:39	8290,47	05:59
	Caminhão 9	04:39	01:17	8288,71	05:56
	Caminhão 10	05:55	-	7629,74	05:55

Para finalizar foi aplicada novamente a metodologia para que fossem atendidos os logradouros restantes. No entanto, quando se aplicou a metodologia, segundo os três critérios propostos, obteve-se como resultado rotas em que o tempo gasto para a coleta era superior a 7 horas de trabalho, o que não se pode admitir por implicar em extrapolar o tempo máximo da escala da equipe.

Como são dez caminhões disponíveis para a realização da atividade em cada Grupo, para a construção do Grupo 7 utilizou-se este parâmetro, número de caminhões, que corresponde ao número de equipes disponíveis e os resultados estão na Tabela 25.

Tabela 25. Resultado das rotas geradas para o GRUPO 7 – 1ª fase.

	Caminhões utilizados	Rotas Seleccionadas	Carga (kg)	Passagens por ruas sem coleta de lixo	Tempo de coleta em horas - TCO	Tempo gasto do depósito até o 1º logradouro - TGDPL	Tempo gasto do último logradouro até o depósito - TGRULD	Tempo gasto para descarregar o caminhão - TMDC	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE
7º GRUPO 10 rotas geradas	Caminhão 1	Rota 10	5959,63	159	4:00	00:06	00:00	00:15	04:21
	Caminhão 2	Rota 9	5970,60	272	5:46	00:26	00:06	00:15	06:33
	Caminhão 3	Rota 6	5972,65	117	3:49	00:16	00:06	00:15	04:26
	Caminhão 4	Rota 5	5974,04	74	3:28	00:09	00:16	00:15	04:08
	Caminhão 5	Rota 1	5976,17	226	4:56	00:00	00:13	00:15	05:24
	Caminhão 6	Rota 8	5978,94	180	4:49	00:23	00:26	00:15	05:53
	Caminhão 7	Rota 7	5980,92	163	4:34	00:03	00:22	00:15	05:14
	Caminhão 8	Rota 2	5983,05	106	3:44	00:15	00:07	00:15	04:21
	Caminhão 9	Rota 3	5984,28	156	4:19	00:07	00:09	00:15	04:50
	Caminhão 10	Rota 4	5985,27	45	3:15	00:09	00:08	00:15	03:47

A carga foi distribuída uniformemente entre os 10 caminhões disponíveis e o volume médio de lixo a ser coletado pela equipes foi de 6.154,56 kg de lixo com tempos compatíveis com a carga horária de 6 horas (média igual a 4h53), a exceção da rota a ser realizada pelo caminhão 2 para a qual será necessária a intervenção.

O número de passagens por ruas sem coleta de lixo aumentou significativamente, o que era de se esperar já que os logradouros atendidos são os que não foram atendidos anteriormente e podem estar localizados em qualquer parte do município.

A complementação das rotas não foi necessária neste Grupo, já que todos os logradouros restantes foram atendidos. A transferência de alguns trechos de coleta pertencentes a rotas atendidas no Grupo 6 que necessitam de realocação por falta de tempo disponível da equipe e a interferência necessária para o caminhão 2 neste Grupo foi feita e os resultados são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26. Aproveitamento das equipes e dos caminhões no GRUPO 7 após a interferência.

RESUMO GRUPO 7	Caminhões utilizados	Lixo coletado após a interferência	Tempo gasto pela Equipe - 1ª FASE	TEMPO TOTAL DA EQUIPE
	Caminhão 1	6270,89	05:14	05:14
	Caminhão 2	5659,34	05:52	05:52
	Caminhão 3	5972,65	04:26	04:26
	Caminhão 4	7055,36	05:15	05:15
	Caminhão 5	6272,60	05:24	05:24
	Caminhão 6	6278,58	05:53	05:53
	Caminhão 7	6279,34	05:14	05:14
	Caminhão 8	6279,92	04:21	04:21
	Caminhão 9	5984,28	04:50	04:50
	Caminhão 10	6642,27	04:36	04:36

Após a intervenção, o tempo médio de coleta neste turno foi de 5h06 e a carga média de lixo coletada de 6.269,52 kg. Estes valores aumentaram devido a transferência de carga do 6º para o 7º Grupo.

Com esta etapa da geração de rotas, finalizaram-se os atendimentos dos logradouros do município de Cariacica. São resultantes da metodologia 7 Grupos de trabalho para atendimento de todo o município de Cariacica.

Cada um dos 7 grupos equivale a um turno de seis horas diárias. O que se deseja é distribuir esses grupos ao longo da semana para se obter o maior número de atendimentos semanais possíveis.

Sendo assim, é possível o atendimento a apenas quatro turnos diários já que se trabalha com turnos de seis horas diárias. Então, não há como atender diariamente todo o município. É sugerido então que seja feito um cronograma de atendimento.

O cronograma de atendimento será proposto considerando a possibilidade de atendimento diário conforme as escalas de trabalho dos quatro turnos, a saber: 06h00-12h00, 12h00-18h00, 18h00-00h00 e 00h00-06h00. A partir daí, os grupos

serão distribuídos conforme essas escalas, de forma que se tenha atendimento a quatro grupos diariamente.

Considerando que são possíveis quatro turnos diários a distribuição foi elaborada da seguinte maneira: inicia-se no domingo o atendimento com os grupos 1, 2, 3 e 4. Para o dia seguinte, 2ª-feira, restam atender 5, 6 e 7. Porém, são atendidos 4 grupos diários, então existe a disponibilidade de atendimento de mais um grupo. Como todos já foram atendidos, reinicia-se com o Grupo 1 e assim sucessivamente.

A Tabela 27 apresenta esta distribuição dia a dia, inclusive aos sábados e domingos. Cada cor representa um grupo e assim pode-se observar em quais dias e quais horários o atendimento a um determinado grupo ocorre.

Por exemplo, a cor amarela identifica os dias e os horários de atendimento do Grupo 1. Este grupo terá atendimento no domingo, de 6h00-12h00, na 2ª-feira, de 00h00-06h00, 4ª-feira, de 18h00-00h00 e na 6ª-feira, de 12h00-18h00. Os dois primeiros atendimentos da semana serão consecutivos.

Tabela 27. Distribuição do atendimento aos Grupos de acordo com o dia da semana.

DIA DA SEMANA HORÁRIOS	DOMINGO	SEGUNDA	TERÇA	QUARTA	QUINTA	SEXTA	SÁBADO
06h00-12h00	Grupo 1	Grupo 5	Grupo 2	Grupo 6	Grupo 3	Grupo 7	Grupo 4
12h00-18h00	Grupo 2	Grupo 6	Grupo 3	Grupo 7	Grupo 4	Grupo 1	Grupo 5
18h00-00h00	Grupo 3	Grupo 7	Grupo 4	Grupo 1	Grupo 5	Grupo 2	Grupo 6
00h00-06h00	Grupo 4	Grupo 1	Grupo 5	Grupo 2	Grupo 6	Grupo 3	Grupo 7

A distribuição proposta permite que todos os logradouros sejam atendidos pelo menos quatro vezes na semana e tenham ao menos dois dias seguidos de atendimento.

Além disso, a coleta sendo realizada em todos os dias da semana aumenta o volume de lixo coletado. A Tabela 28 mostra que semanalmente cada turno contendo 10 equipes realiza uma coleta de 59,4 toneladas de lixo e que o volume médio coletado é de 33,94 toneladas.

Tabela 28. Volume de lixo coletado por Grupo diariamente e semanalmente em toneladas.

HORÁRIOS \ DIA DA SEMANA	DOMINGO	SEGUNDA	TERÇA	QUARTA	QUINTA	SEXTA	SÁBADO	Volume coletado por turno
	06h00-12h00	9,6	8,4	9,3	8,1	9,0	6,3	
12h00-18h00	9,3	8,1	9,0	6,3	8,7	9,6	8,4	59,4
18h00-00h00	9,0	6,3	8,7	9,6	8,4	9,3	8,1	59,4
00h00-06h00	8,7	9,6	8,4	9,3	8,1	9,0	6,3	59,4
Volume coletado diariamente em toneladas	37	32,4	35,4	33,3	34,2	34,2	31,5	237,6

5.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A metodologia proposta utiliza os seguintes parâmetros para sua aplicação: maior aproveitamento da carga máxima do caminhão, menor tempo de percurso total e menor número de passagens por logradouros sem coleta de lixo.

A Tabela 29 apresenta os resultados obtidos com a aplicação da metodologia. Pode-se observar que em média cada caminhão atende a duas rotas: uma utilizando a capacidade máxima do veículo (1ª fase) e outra fazendo o reaproveitamento da equipe que possui tempo de trabalho disponível (2ª fase).

Tabela 29. Resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta.

Grupos	Número de atendimentos semanais	ROTEIROS PROPOSTOS NA 1ª FASE - SEM A METODOLOGIA			ROTEIROS PROPOSTOS NA 2ª FASE - APLICANDO A METODOLOGIA		
		Número de Veículos utilizados	Resíduo coletado por Grupo (em toneladas)	Total de resíduo coletado por Grupo (em toneladas)	Número de Veículos reaproveitados	Resíduo coletado por Grupo (em toneladas)	Total de resíduo coletado por Grupo (em toneladas)
Grupo 1	4	10	8,0	320	10	1,6	65,0
Grupo 2	4	10	8,0	320	10	1,3	52,0
Grupo 3	4	10	8,0	320	10	1,0	39,4
Grupo 4	4	10	8,0	320	10	0,7	27,0
Grupo 5	4	10	8,0	320	8	0,5	16,0
Grupo 6	4	10	8,0	320	6	0,4	9,4
Grupo 7	4	10	6,1	244	0	0,0	0,0
Totais:			54,1	2164	Totais	5,5	208,8

O número de veículos reaproveitados na 2ª fase varia devido ao fato de que alguns caminhões atenderam a dois critérios estabelecidos simultaneamente: capacidade máxima do veículo de 8 toneladas e tempo de rota igual a 6 horas.

Os resíduos sólidos domiciliares coletados por cada Grupo diminuíram na medida em que o número de logradouros atendidos aumentava. Na 2ª fase a metodologia produz 208,8 toneladas de resíduos coletados, o que equivale a aproximadamente 26,1 viagens a mais por caminhão semanalmente.

Na 1ª fase são coletadas 2.164 toneladas de resíduos sólidos domiciliares e na 2ª, 208,8 toneladas, perfazendo um total de 2.372,8 toneladas por semana. Este reaproveitamento de tempo das equipes e de veículos parados equivale a coletar semanalmente mais 10% de resíduos a serem coletados no município.

Os gráficos das figuras a seguir apresentam as médias desses parâmetros em cada grupo. Na Figura 13, observa-se que a quantidade média de lixo coletado em cada grupo vai decrescendo devido ao número de logradouros atendidos que aumenta. Vale ressaltar que esta quantidade é calculada a partir do número de viagens que cada caminhão faz para atender a sua respectiva rota.

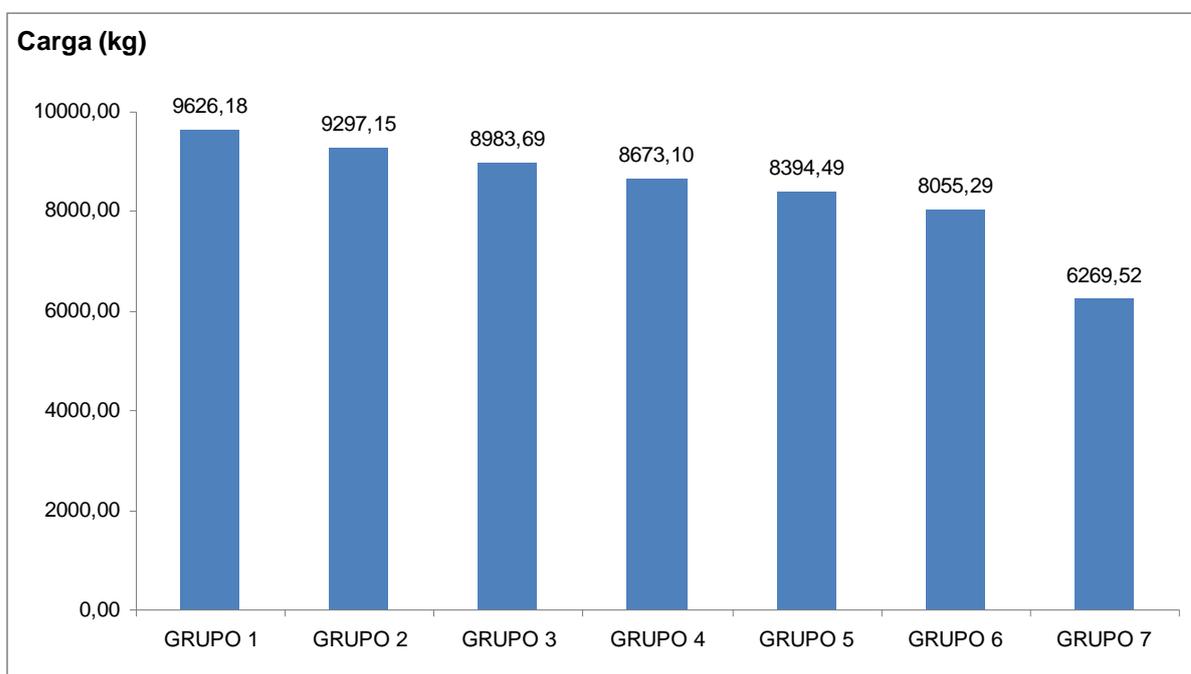


Figura 13. Volume médio de lixo domiciliar coletado em cada grupo.

Na Figura 14, observa-se que o tempo médio gasto em cada viagem é sempre em torno de 6 horas, o que torna os roteiros propostos viáveis já que a escala de trabalho das equipes é de 6 horas para cada grupo.

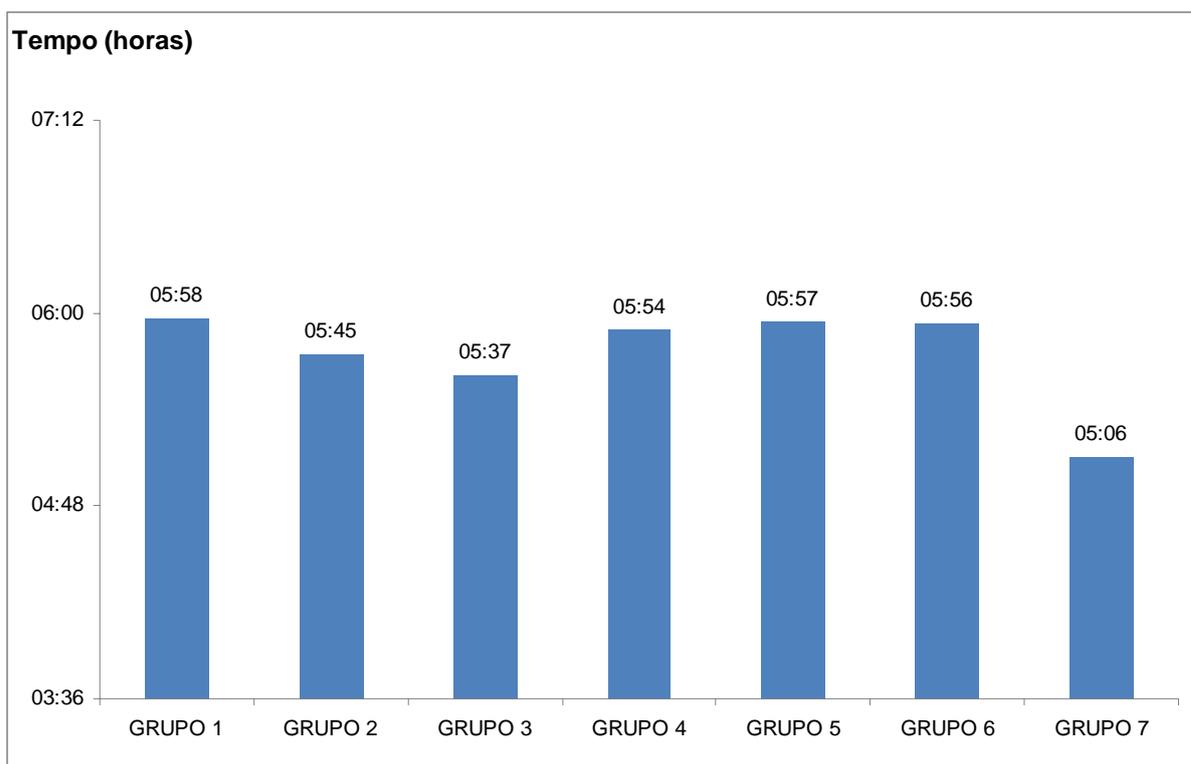


Figura 14. Tempo médio gasto para a coleta de lixo domiciliar coletado em cada grupo.

Estes tempos foram obtidos após a aplicação da metodologia e a intervenção manual. Com a intervenção foi possível obter tempos de rota que não extrapolam o limite de jornada de trabalho dos grupos.

Cada grupo tem 10 caminhões para atender a demanda de coleta dos logradouros que compõe os 10 roteiros. O tempo gasto para realizar o serviço na 1ª e na 2ª fase foi contabilizado e uma média por grupo foi calculada. Assim, no Grupo 1 o tempo médio para coletar os resíduos por cada caminhão é de 5h58 e assim, sucessivamente.

Nos Grupos 1, 2, 4, 5 e 6 em todos os roteiros propostos na 1ª fase foi possível o reaproveitamento das equipes e seus respectivos caminhões. Por isso os tempos foram bem próximos às 6 horas diárias de trabalho das equipes.

No Grupo 3 o tempo médio de rota foi de 5h37, isto porque em algumas rotas propostas ainda seria possível incluir uma 3ª fase para aproveitar tempos ociosos

de algumas equipes. Optou-se por manter apenas 2 fases por ser o melhor resultado alcançado após todo o estudo feito.

O Grupo 7 tem tempo médio de coleta de 5h06 por ser o último grupo e incluir apenas os que ainda não foram atendidos até este momento.

O número médio de logradouros que já tiveram o serviço de coleta realizado, mas ainda é utilizado nas rotas por fazer parte de um caminho de menor custo é apresentado na Figura 15.

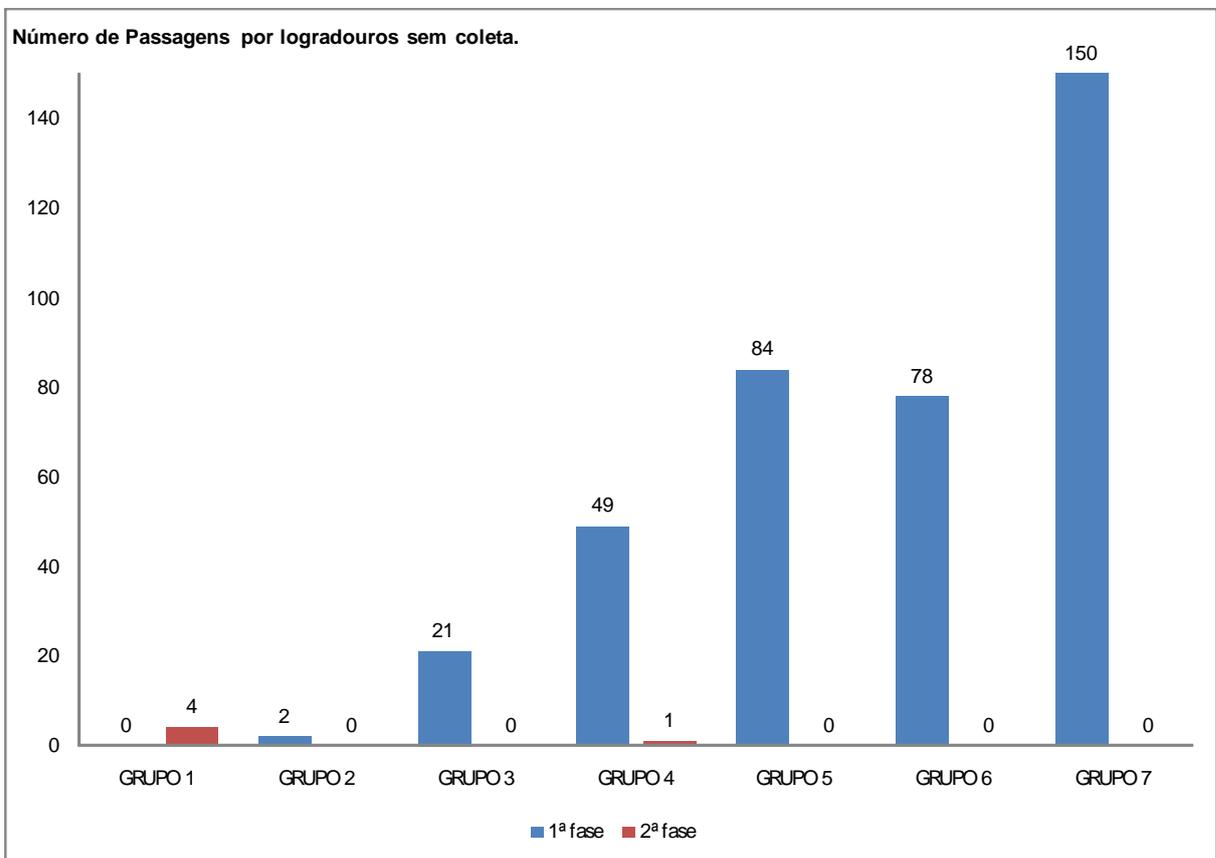


Figura 15. Número médio de logradouros já atendidos que fazem parte das rotas.

Observa-se que no 1º Grupo, onde nenhum logradouro ainda foi atendido, a 2ª fase possui o maior número de passagens em ruas que já foram atendidas. A partir do 2º Grupo este número passa a ser maior na 1ª fase e vai crescendo a cada turno. Fato este totalmente explicável já que o número de atendimentos vai aumentando a cada Grupo atendido.

Assim, o atendimento aos 176 bairros foi organizado em 7 Grupos com quatro turnos diários: o primeiro turno é de 6h00 as 12h00, o segundo de 12h00-18h00, o terceiro de 18h00-00h00 e o quarto de 00h00-06h00.

O reaproveitamento dos veículos foi alcançado já que em todas as rotas propostas o tempo ainda disponível de uma equipe após a realização de uma rota foi utilizado para atender rotas menores.

No entanto, a comparação dos resultados obtidos por meio desta metodologia com a situação atual da empresa não foi realizada, pois os dados operacionais não foram disponibilizados pela empresa tendo em vista o sigilo de contrato.

Capítulo 6 – CONCLUSÕES

Analisando os resultados observa-se que a metodologia proposta funciona e que o objetivo principal de desenvolver uma metodologia para melhor planejar a coleta de resíduos sólidos domiciliares, aproveitando a capacidade do veículo e o tempo de trabalho disponível para as equipes foi atingido.

O reaproveitamento dos caminhões foi alcançado, já que foi conseguido em todos os grupos que os tempos de sobra de horário fossem utilizados. A proposição da metodologia com o objetivo de aproveitar as equipes que porventura tenham tempo de trabalho sobrando traz como vantagem o recolhimento de volume maior de lixo e ainda pode implicar que esse atendimento seja feito em intervalos de tempo menores.

Outro fator a ser considerado como ganho com a utilização da metodologia proposta é o impacto que pode causar a sociedade dando um melhor atendimento ao município, visando evitar acúmulo de resíduos em locais inapropriados, gerando diversos problemas ambientais e de saúde.

Além disso, como já foi dito anteriormente, os gastos com o serviço de limpeza urbana são expressivos dentro do orçamento público, por isso evitar que uma equipe fique parada e conseqüentemente um caminhão parado, vai evitar que funcionários sejam pagos quando estão dentro do seu horário de trabalho sem efetivamente trabalhar.

A distribuição dos turnos durante toda a semana possibilitou que todos os grupos fossem atendidos quatro vezes por semana e ainda que em dois dias sejam consecutivos.

Uma importante conclusão a ser tirada da pesquisa desenvolvida nesta dissertação é que as ferramentas de roteirização quando utilizadas sem estar inseridas em metodologias de tratamento de problemas logísticos, podem trazer resultados que

não alcancem valores condizentes com a situação real encontrada e, portanto, os valores poderão ficar aquém dos valores mais próximos do ótimo.

O software TransCAD se mostrou limitado para algumas situações propostas para a metodologia. Por exemplo, na rotina de roteirização em arcos – *Arc Routing*, se mostrou em várias situações com comportamento computacional instável, travando o computador. Vale ressaltar que apesar deste problema, foi possível aplicar a metodologia e obter os resultados aqui apresentados.

6.1. TRABALHOS FUTUROS

Nos grupos cuja coleta na 2ª fase é realizada com tempos muito pequenos e conseqüentemente, com um volume de lixo coletado também pequeno é necessário analisar a viabilidade econômico-financeira de se utilizar caminhões em casos como esse.

Como a esta análise não é o foco deste trabalho, para ver se economicamente vale a pena rodar com caminhões nessas condições, sugerimos o estudo da situação em trabalhos futuros.

A distribuição dos grupos em um cronograma deve ser analisada de forma que atenda da melhor maneira possível ao município, já que nesta dissertação sua organização focou apenas a apresentação dos grupos obtidos com a metodologia.

A metodologia apresentada nesta dissertação propõe que seja feito o atendimento em quatro turnos diários de seis horas. Uma sugestão é aplicar a metodologia utilizando três turnos diários de oito horas, por exemplo, de 6h00-14h00, de 14h00-22h00 e de 22h00-6h00.

Devido as dificuldades encontradas no uso do TransCAD, também como trabalho futuro, sugere-se a construção de programa que atenda a metodologia proposta nesta dissertação.

REFERÊNCIAS

AMPONSAH, S.K.; SALHI, S. *The investigation of a class of capacitated arc routing problems: the collection of garbage in developing countries*. **Waste Management**, v. 24, p. 711-721, 2004.

ARENALES,M.; ARMENTANO,V.; MORABITO,R.; YANASSE,H. **Pesquisa Operacional para os Cursos de Engenharia**, Elsevier, p. 192-200, 2007.

ARAÚJO, R.R. **um modelo de resolução para o problema de roteirização em arcos com restrição de capacidade**. Porto Alegre, 177 p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12980**: Coleta de resíduos sólidos domiciliares – procedimento. Rio de janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13463**: Coleta de resíduos sólidos – procedimento. Rio de janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de janeiro, 2004.

BALLOU,R.H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial**. Tradução Raul Rubenich, Porto Alegre: Bookman, p.187-222, 2006.

BELTRAMI, E.J.; BODIN, L.D. *Networks and Vehicles Routing for Municipal Waste Collection*. **Networks**, v. 4, p. 65-94, 1974.

BENAVENT, E.; CEMPOS, V.; CORBERÁN, A.; MOTA, E. *The Capacitated Arc Routing Problem. A Heuristic Algorithm*. **QÜESTIÓ**, V. 14, N. 1, 2 ,3, P. 107-122, 1990.

BELFIORE, P.P. **Scatter Search para problemas de roteirização de veículos com frota homogênea, janelas de tempo e entregas fracionadas.** São Paulo, 222 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2006.

BOAVENTURA, P.O.; JURKIEWICZ, S. **Grafos: Introdução e Prática,** São Paulo: Edgard Blücher Ltda. 176 p. 2009.

BODIN, L.D.; GOLDEN, B.L.; ASSAD, A.A.; BALL, M.O. *Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art.* **Computers & Operations Research**, v.10, n.2, p. 63-211, 1983.

BODIN, L.D.; KURSH, S.J. *A computer-assisted system for the routing and scheduling of street sweepers.* **Operations Research**, v. 26, n. 4, p.525-537, 1978.

BODIN, L.D.; KURSH, S.J. *A detailed description of a computer system for the routing and scheduling of street sweepers."* **Computers & Operations Research**, vol. 6, p. 181–198, 1979.

BRITO, R.A.F. **Uso de Sistema de Informação Geográfica para a Análise do Transporte e Disposição Final dos Resíduos Sólidos.** São Paulo, 100 p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2006.

CALIPER. **Routing and Logistics with TransCAD**, versão 3.0, Transportation GIS Software: Caliper Corporation, 1996.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.S.; MAGALHÃES, G.C.; MEDEIROS, C.M.B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, São Paulo, 1996.

CÂMARA, G.; DAVIS, C., MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à Ciências de Geoinformação**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, São Paulo, 2001.

CARVALHO, L.E.X.; **Desenvolvimento de solução integrada de sistemas de limpeza urbana em ambiente SIG**. Rio de Janeiro, 340 p. Dissertação de Mestrado – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.

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**. Uberlândia, 141 p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

CHRISTOFIDES, N.; BENAVENT, E.; CAMPOS, A.; CORBRAN, A.; MOTA, E. *An optimal method for the mixed postman problem*. **Proceedings of the 11th IFIP Conference**, Copenhagen, Denmark, p. 641-649, 1983.

CLARKE, G.; WRIGHT, J.W. *Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points*. **Operations Research**, v. 12, p. 568-581, 1954.

CORDEIRO, M. G. **Um tratamento heurístico para o problema do carteiro chinês com restrições de capacidade e tempo: uma aplicação em otimização de rotas para coleta de resíduos domiciliares**. Vitória, 91 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Espírito Santo, 2008.

CUNHA, C.B. *Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais*. **Transportes**, Rio de Janeiro, v.8, n.2, p.51-74, 2000.

DETOFENO, T.C.; STEINER, M.T.A. Otimização das Rotas de Coleta de Resíduos Urbanos, utilizando Técnicas de Pesquisa Operacional. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL**, 20.,2009, Porto Seguro.

DELUQUI, K.K. *et al* **Roteirização**. In: Ferramentas específicas de um Sistema de Informações Geográficas para Transportes, São Carlos, 1998.

EDMONDS, J. & JOHNSON, E. *Matching, Euler Tours and the Chinese Postman Problem*. **Mathematical Programming**, v. 5, p. 88-124, 1973.

EISELT, H.A.; GENDREAU, M.; LAPORTE, G. *Arc routing problems, Part I: The chinese postman problem*. **Operations Research**, v. 43, n.2, 1995.

FERREIRA, J.A. **Resíduos Sólidos: Perspectivas Atuais**. In: Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde: uma visão multidisciplinar, Rio de Janeiro, Editora Fiocruz, 142 p, 2000.

FILHO, M. G.; JUNQUEIRA, R.A.R. *Problema do Carteiro Chinês: escolha de métodos de solução e análise de tempos computacionais*. **Revista Produção**, v. 16, n. 3, p. 538-551, 2006.

GALVÃO, R.D.; NETO, J.F.B.; FILHO, V.J.M.F.; HENRIQUES, H.B.S. *Roteamento de Veículos com base em Sistemas de Informações Geográficas*. **Gestão e Produção**, v.4, pág.159-173, ago.1997.

GHIANI, G.; GUERRIERO, F.; IMPROTA, G.; MUSMANNO, R. *Waste collection in Southern Italy: solution of a real-life arc routing problem*. **International Transactions in Operational Research**, v. 12, p. 135-144, 2005.

GOLDBARG, M.C., LUNA, H.R.L. **Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos**, Rio de Janeiro: Campus, p. 396-477, 2000.

GUIMARÃES, G.S.; PACHECO, R.F. *Análise da viabilidade do uso de um software de roteirização de veículos em uma empresa agroindustrial*. **XXV ENEGEP**, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Amostras por Domicílio – PNAD**. Rio de Janeiro 2005.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro 2008.

Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/noticias/mcidades-e-ibge-realizam-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico-2008/>

LACERDA, M.G. **Análise de uso de SIG no sistema de coleta de resíduos sólidos domiciliares em uma cidade de pequeno porte**. São Paulo, 158 p.

Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2003.

LI, J.Q.; BORENSTEIN, D. MIRCHANDANI, P.B. *Truck scheduling for solid waste collection in the City of Porto Alegre, Brazil*. **OMEGA The International Journal of Management Science**, Elsevier, 16 p., 2006.

LOGIT Sistemas. Soluções Completas em Logística, Informática, Geoprocessamento e Transportes. Disponível em <http://www.rotacerta.com.br> . Acessando em 18 de março de 2008.

LONGO, H.; ARAGÃO, M.P.; UCHOA, E. **Solving Capacitated Arc Routing Problems using a transformation to the CVRP**. PUC-RioInf. MMC10/04, 2004.

MANIEZZO, V. *Algorithms for large directed CARP instances: urban solid waste collection operational support*. **UBLCS Technical Report Series**, Bolonha, Italy: University of Bolonha, 27 p., 2004.

MAPA, S.M.S.; LIMA, R.S. *Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como ferramenta suporte a estudos de localização e roteirização*. **XXV ENEGEP**, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.962-969, 2005.

MARCA AMBIENTAL, 2007.

MELO, A.C.S.; FILHO, V.J.M.F. *Sistemas de Roteirização e Programação de Veículos*, **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, COPPE, v.21, n. 02, p. 223-232, 2001.

MILLER, H.J.; SHAW, S. ***Geographic Information Systems for Transportation Principles and Applications***, New York: Oxford University Press, 458 p. 2001.

MOURA, M.C; FONTES, A.A.; RIBEIRO, C.A.A.S. *Determinação da Melhor Rota para Coleta Seletiva de Lixo no Campus da Universidade Federal de Viçosa utilizando dos Sistemas de Informações Geográficas*, **Anais X SBSR**, Foz do Iguaçu, INPE, p. 1119-1125, 2001.

NOVAES, A.G. ***Sistemas Logísticos: Transporte, Armazenagem e Distribuição Física de Produtos***, São Paulo: Edgard Blücher Ltda. 376 p. 1989.

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. Acesso em 14 de novembro de 2007.

ROSA, R.A. ***Roteirização do transporte diário de empregados por uma frota de ônibus fretada***. Espírito Santo, 119 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Espírito Santo, 1996.

SANTOS, L; RODRIGUES, J.C. ***Implementação em SIG de uma Heurística para o Estudo da Recolha de Resíduos Sólidos Urbanos***, Coimbra: Universidade de Coimbra, 24 p. 2003.

SMIDERLE, A.; STEINER, M.T.A.; WILHELM, V.E. *Técnicas da Pesquisa Operacional aplicadas a um Problema de Cobertura de Arcos*. **TEMA – Tem. Mat. Aplic. Comput.** 5, nº 2, p. 347-356, 2004.

SIMONETO, E.O.; BORENSTEIN, D. *Gestão Operacional da Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos – Abordagem Utilizando um Sistema de Apoio à Decisão*. **Gestão & Produção**, v. 13, nº 3, p. 449-461, 2006.

ZANTA, V.M.; FERREIRA, C.F.A. ***Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos***. In: Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte, Rio de Janeiro: ABES, 294 p. 2003.

**APÊNDICE A – ROTAS RESULTANTES EM CADA GRUPO APÓS A
APLICAÇÃO DA METODOLOGIA**

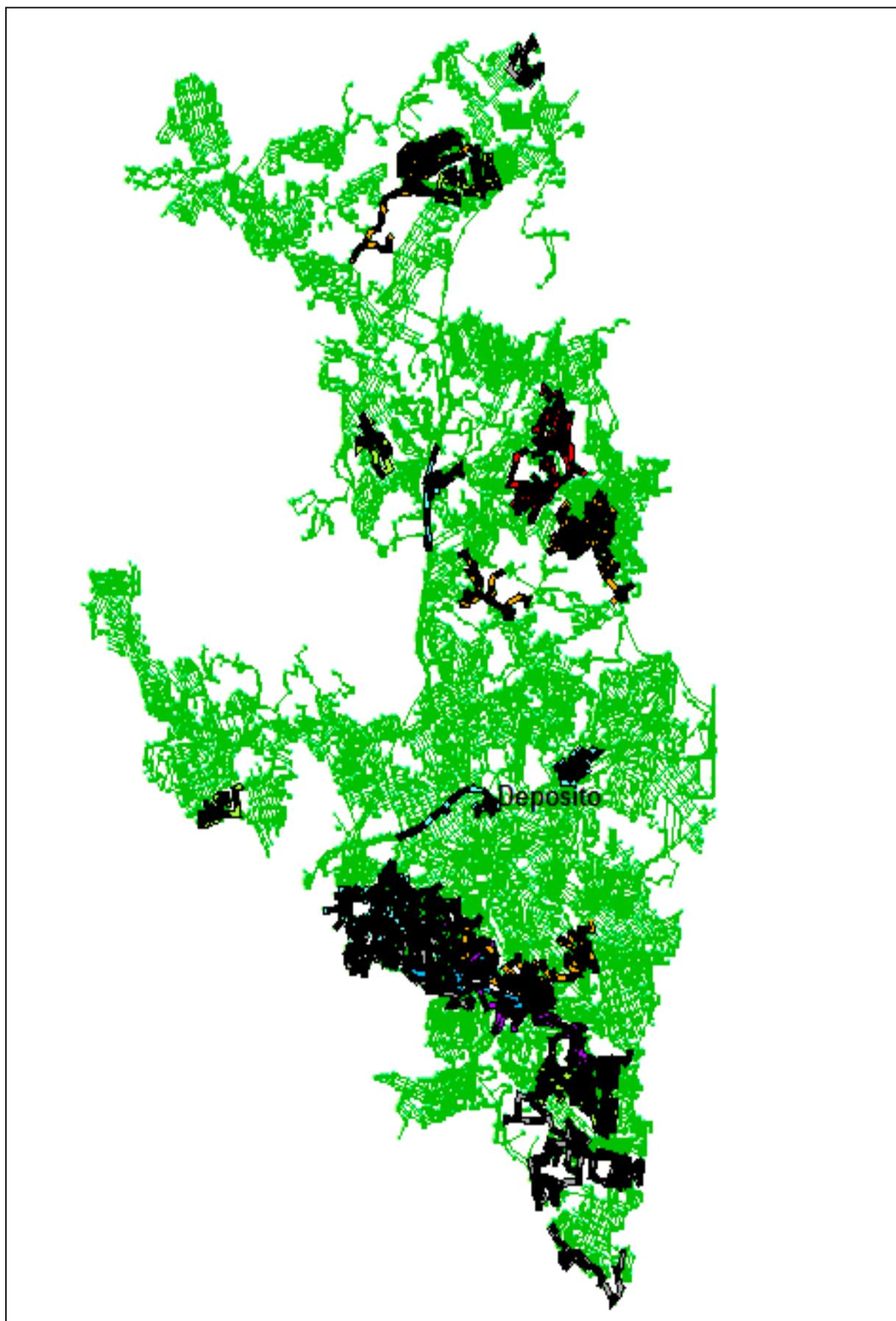


Figura 16. Rotas resultantes para atendimento no 1º turno segundo a metodologia proposta.

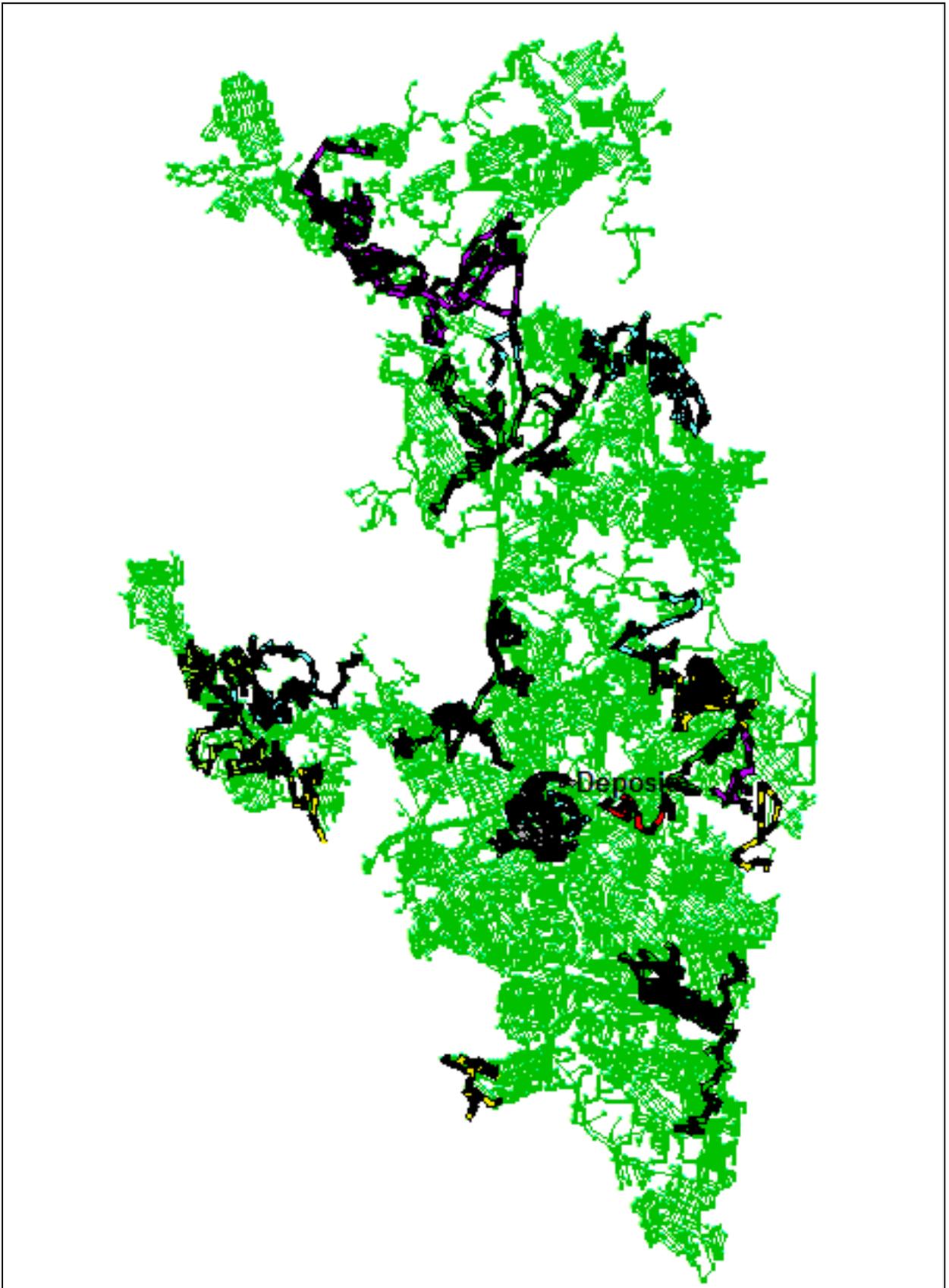


Figura 17. Rotas resultantes para atendimento no 2º turno segundo a metodologia proposta.

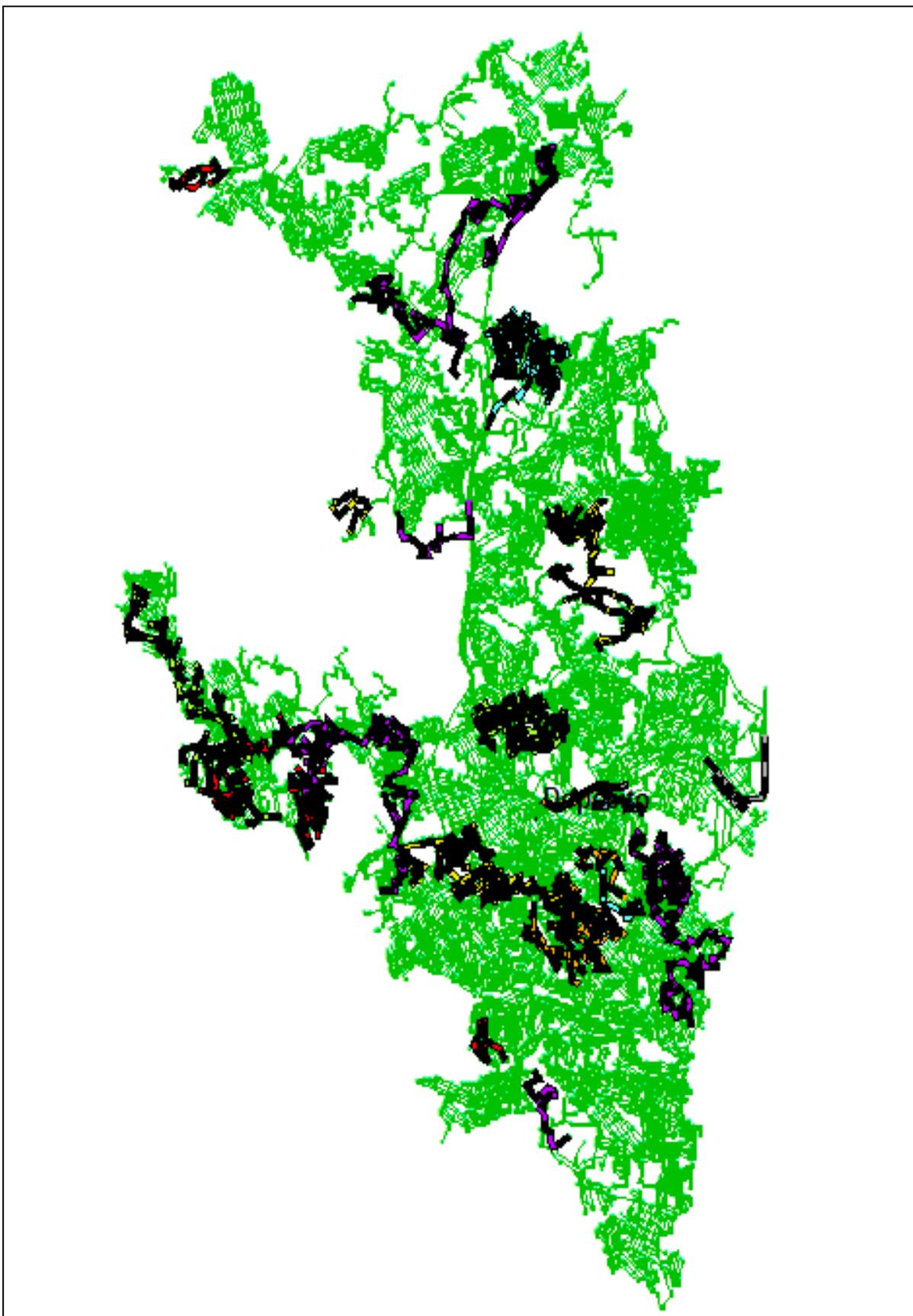


Figura 18. Rotas resultantes para atendimento no 3º turno segundo a metodologia proposta.

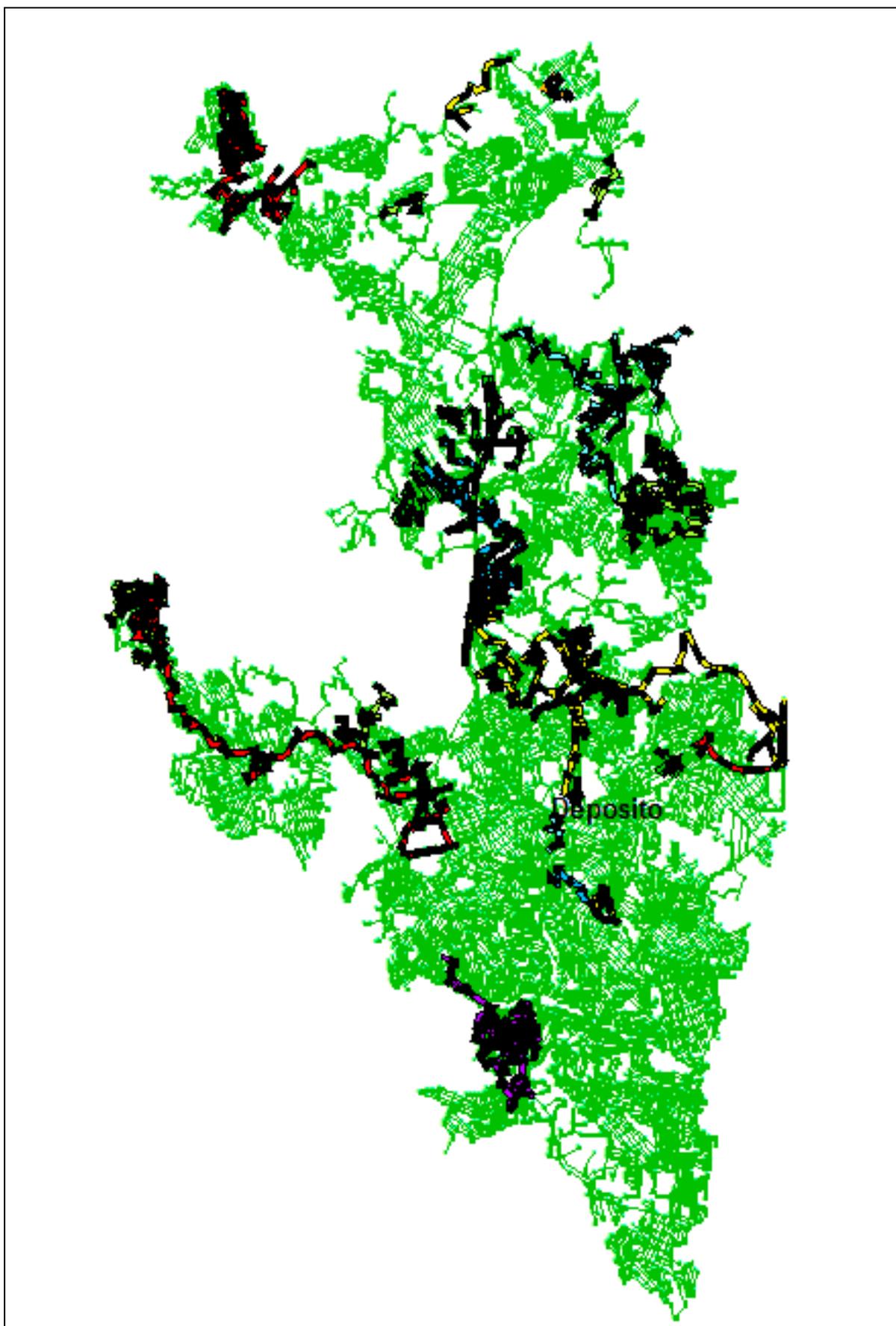


Figura 19. Rotas resultantes para atendimento no 4º turno segundo a metodologia proposta.

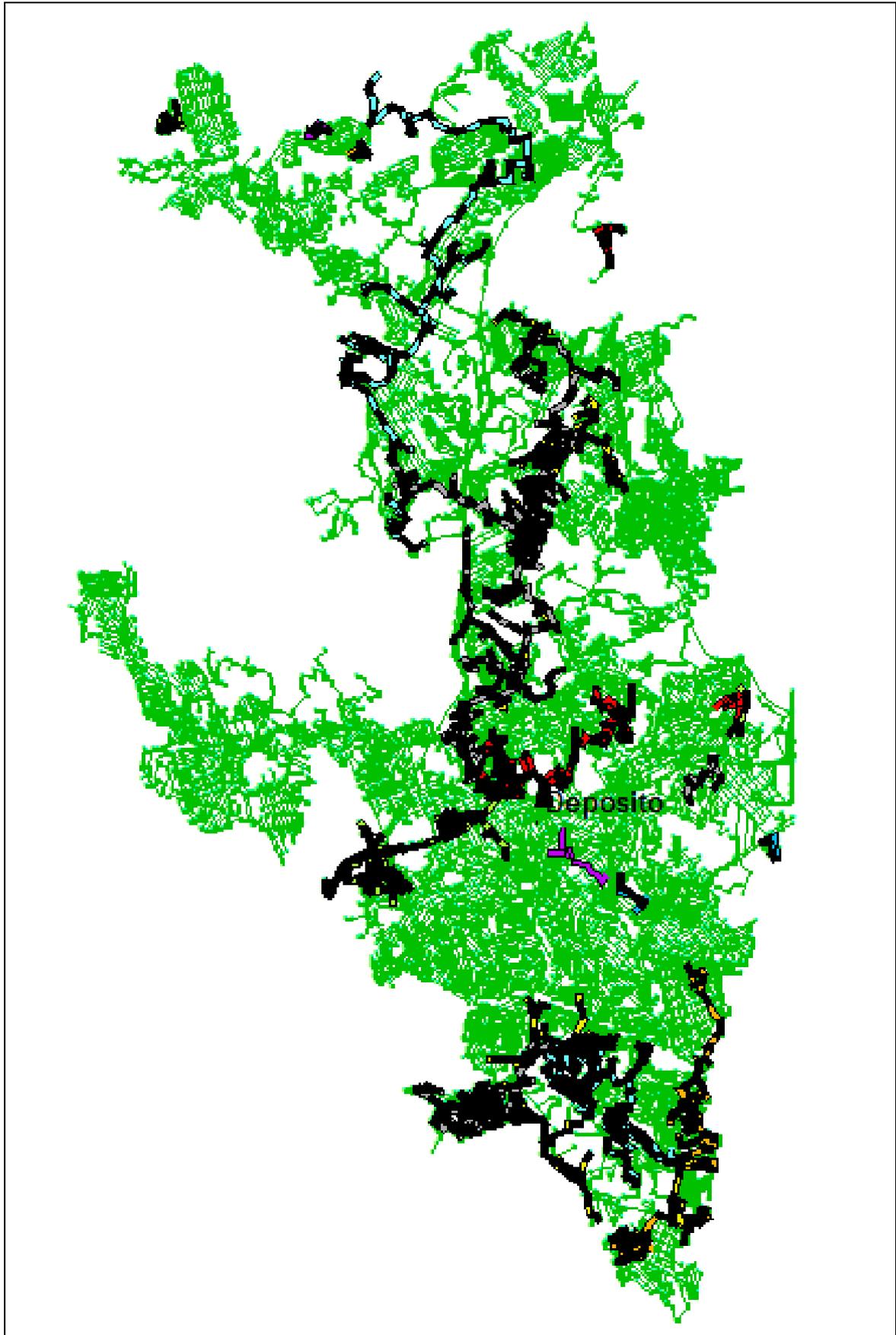


Figura 20. Rotas resultantes para atendimento no 5º turno segundo a metodologia proposta.

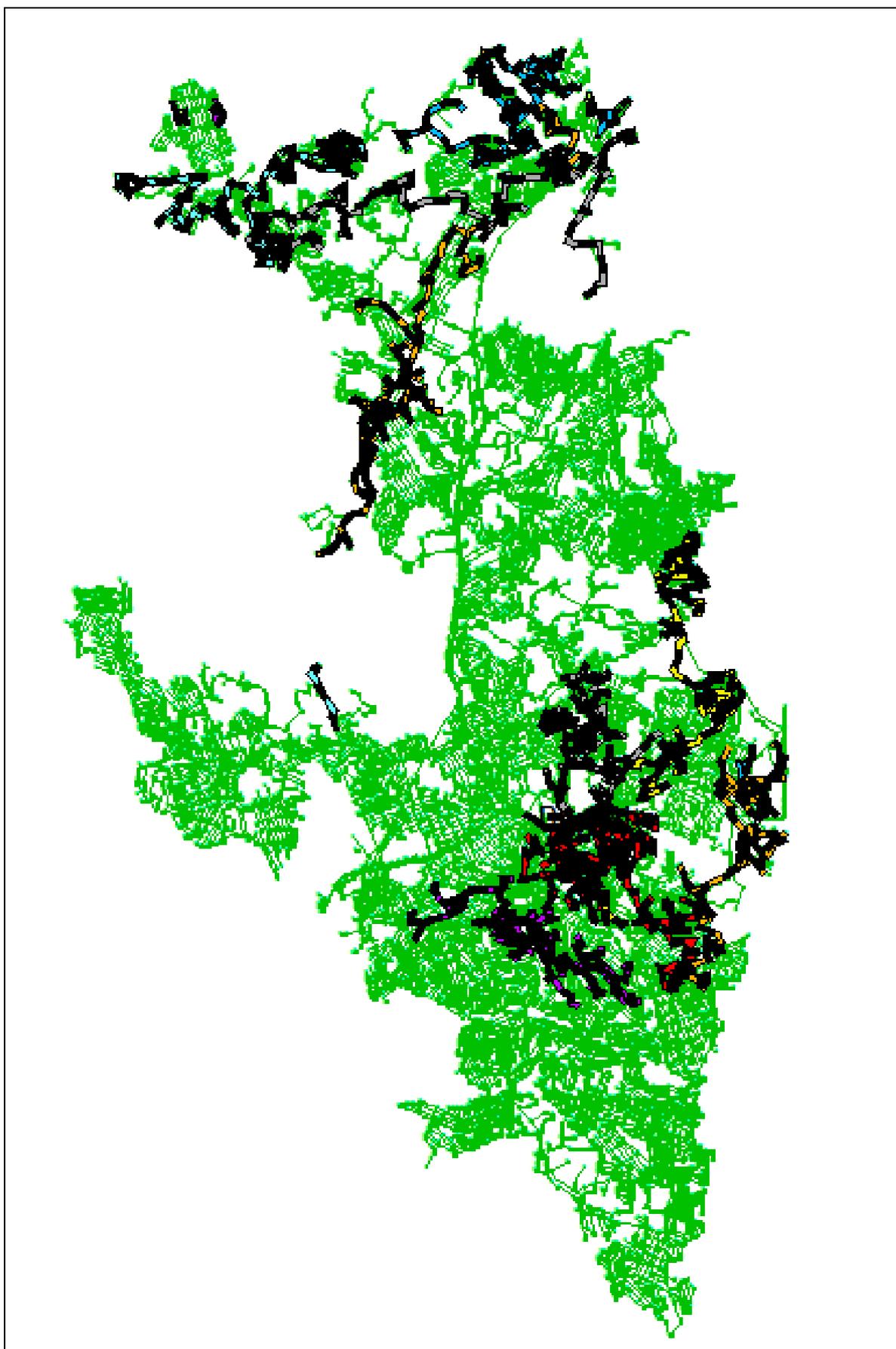


Figura 21. Rotas resultantes para atendimento no 6º turno segundo a metodologia proposta.

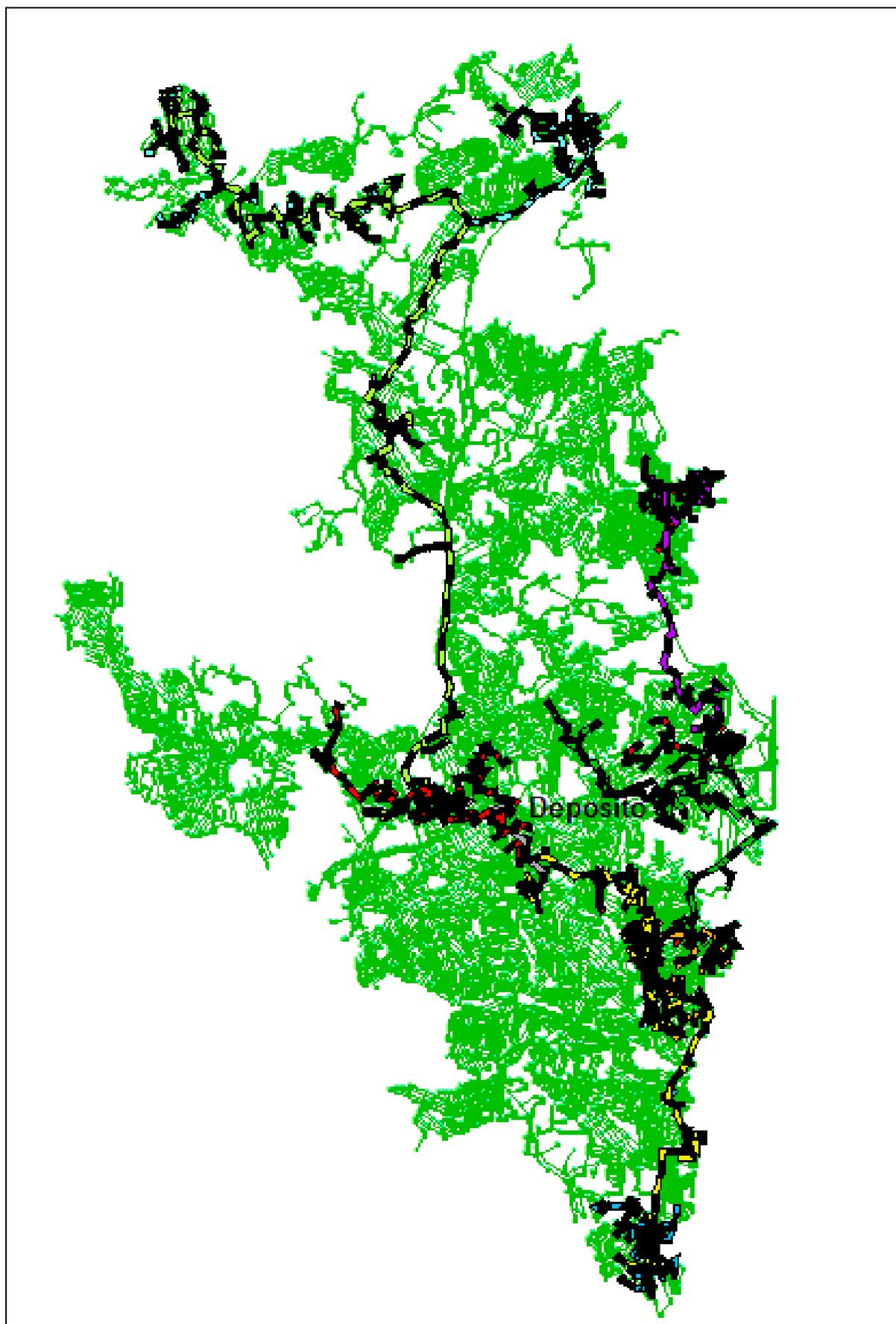


Figura 22. Rotas resultantes para atendimento no 7º turno segundo a metodologia proposta.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)