

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

ROSEMBERG SILVA SALLES

**ESTUDO DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS COM APOIO
DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS –
CONTRIBUIÇÃO PARA O TRANSPORTE URBANO DE
EMPREGADOS POR UMA FROTA DE ÔNIBUS FRETADA**

VITÓRIA

2013

ROSEMBERG SILVA SALLES

**ESTUDO DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS COM APOIO
DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS –
CONTRIBUIÇÃO PARA O TRANSPORTE URBANO DE
EMPREGADOS POR UMA FROTA DE ÔNIBUS FRETADA**

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 em Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Gregório Coelho de Moraes Neto.

VITÓRIA

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Tecnológica,
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

S168e Salles, Rosemberg Silva, 1967-
Estudo de roteirização de veículos com apoio de um sistema de informações geográficas : uma contribuição para o transporte urbano de empregados por uma frota de ônibus fretada / Rosemberg Silva Salles. – 2013.
159 f. : il.

Orientador: Gregório Coelho de Moraes Neto.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Ônibus - Fretes. 2. Problema de roteamento de veículos. 3. Sistemas de informação geográfica. I. Moraes Neto, Gregório Coelho de. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 624

ESTUDO DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS COM APOIO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS – CONTRIBUIÇÃO PARA O TRANSPORTE URBANO DE EMPREGADOS POR UMA FROTA DE ÔNIBUS FRETADA

ROSEMBERG SILVA SALLES

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

Aprovada no dia **22 de maio de 2013** por:



Prof. Dr. Gregório Coelho de Moraes Neto
Doutor em Engenharia de Transportes - UFES
Orientador



Profa. Dra. Marta Monteiro da Costa Cruz
Doutora em Engenharia de Transportes - UFES
Membro Interno



Prof. Dr. Carlos David Nassi
Doutor em Engenharia de Transportes - UFRJ
Membro Externo - COPPE

À minha esposa Edelaid e minhas filhas
Livia Maria e Victoria.

AGRADECIMENTOS

A minha família, pela compreensão de que minha ausência em inúmeras horas eram necessárias para a conclusão do mestrado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Gregório Coelho de Moraes Neto pelo apoio e indicação dos melhores caminhos para a conclusão deste estudo.

Ao Departamento de Tecnologia e Projetos da ArcelorMittal Tubarão, na figura de seus gerentes, pela visão e flexibilização da jornada de trabalho que tornou possível a conclusão deste projeto.

A todos os professores do mestrado que colaboraram com a minha formação e aprendizado.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Carlos David Nassi e Prof^a. Dra. Marta Monteiro da Costa Cruz pelas contribuições ao trabalho.

A Henrique Lugon pelo apoio no estudo das rotinas de roteirização do *software* TransCAD.

A Patricia Louzada pela monitoria da disciplina de sistema de informações geográficas.

Aos colegas do mestrado, que por diversas vezes uniram-se para a realização dos estudos e atividades.

A Sidney Gonçalves, pela presteza e disponibilidade para resolver os trâmites burocráticos que envolvem o mestrado.

RESUMO

Este estudo tem o objetivo de desenvolver um procedimento de coleta e distribuição física de empregados por uma frota de ônibus fretada com o apoio de um sistema de informações geográficas, aplicando o problema de roteirização de veículos para uma possível otimização das rotas. Inicialmente é feita uma revisão de literatura sobre o transporte fretado de empregados, bem como dos problemas de roteirização de veículos e dos sistemas de informações geográficas. Em seguida é proposto um procedimento de roteirização, onde se caracteriza e delimita o problema de coleta e distribuição de empregados, além de definir os critérios de otimização de rotas. Para tanto, utiliza-se o *software* TransCAD no qual é feita a modelagem e proposta de resolução do problema. O procedimento foi aplicado a um estudo de caso em uma empresa de grande porte na Região Metropolitana da Grande Vitória, no Estado do Espírito Santo, que oferece transporte próprio as seus empregados. Foram gerados quatro cenários, onde se analisa a eficiência das rotas em termos de distâncias, tempos de viagem e custos operacionais. Os resultados gerados a partir do procedimento permitiram determinar em que cenários as rotas se mostram mais eficientes.

Palavras-chave: Transporte Fretado. Problema de Roteirização de Veículos. Sistema de Informações Geográficas.

ABSTRACT

This work aims to develop a procedure for collecting and physical distribution of employees by a fleet of chartered buses with the support of a geographic information system by applying the vehicle routing problem for possible optimization of routes. We begin with a review of the literature on chartered transport of employees, as well as the problems of vehicle routing and geographic information systems. Then we propose a routing procedure, which characterizes and defines the problem of collection and delivery of employees, in addition to defining the criteria for route optimization. For this purpose, we use the software TransCAD where you do the modeling and the resolution of the problem. The procedure was applied to a case study in a large company in the Metropolitan Region of Vitória in Espírito Santo State, which provides transport their own to their employees. We generated four scenarios, analyzing the efficiency of the routes in terms of distances, travel times and operating costs. The results generated from the procedure allowed us to determine in what scenarios the routes are more efficient.

Keywords: Chartered Transport. Vehicle Routing Problem. Geographic Information System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estimativa de Distribuição da Frota de Veículos de Passageiros Fretado.	25
Figura 2 - Emissões de CO ₂ no Brasil (a) por Segmento (b) por Tipo de Veículo	26
Figura 3 - Grafo Básico.	30
Figura 4 - Grafo: Orientado (a) Não Orientado (b).	31
Figura 5 - Rede de Transporte: (a) Trilha (b) Circuito	32
Figura 6 - Rota: (a) em Pétalas (b) em Estrela.	45
Figura 7 - Componentes Principais de um SIG	58
Figura 8 - Aplicações do TransCAD	65
Figura 9 - Região Metropolitana da Grande Vitória.	69
Figura 10 - Intensidade de Fluxo Diário dos Trabalhadores da Indústria na RMGV	74
Figura 11 - Arquivos Geográficos Importados no TransCAD	84
Figura 12 - Janela TransCAD para Criação de Rede.	85
Figura 13 - Janela TransCAD para Edição de Mapas	86
Figura 14 - Janela TransCAD para Edição de Sentido de Vias.	86
Figura 15 - Janela TransCAD para Criação de Arquivo Geográficos de Pontos.	87
Figura 16 - Arquivos Geográficos Importados e Criados no TransCAD	88
Figura 17 - Janela de Parametrização de Atributos para Camadas no TransCAD	88
Figura 18 - Janela para Criação e Edição da Tabela de Veículos no TransCAD	90
Figura 19 - Janela para Criação da Matriz de Roteirização no TransCAD	91
Figura 20 - Janela para Criação de Arquivo Gráfico de Rotas no TransCAD	93
Figura 21 - Região 8 do Município de Vitória – Bairro de Jardim Camburi.	96
Figura 22 - Ônibus Convencional de Transporte de Empregados.	98
Figura 23 - Rodoviária AMT	100
Figura 24 - Rede de Transporte da Região Delimitada para o Estudo	107
Figura 25 - Camada com a Localização dos Pontos de Parada.	108
Figura 26 - Dados da Camada dos Pontos de Parada.	109
Figura 27 - Camada com a Localização dos Empregados.	110
Figura 28 - Janela de Seleção do Modo de Operação	111
Figura 29 - Janela de Parametrização da Base.	112
Figura 30 - Janela de Parametrização dos Pontos de Paradas	113
Figura 31 - Janela de Criação da Matriz de Roteirização.	114
Figura 32 - Matriz de Roteirização	115

Figura 33 - Relatório de Criação da Matriz do Modo de Operação <i>Pickup</i>	116
Figura 34 - Janela com a Tabela de Criação e Edição de Veículos	116
Figura 35 - Relatório Resumo do Modo de Operação <i>Delivery</i>	119
Figura 36 - Relatório de Itinerário do Modo de Operação <i>Delivery</i>	120
Figura 37 - Mapa das Rotas do Modo de Operação <i>Delivery</i>	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dados do Setor de Transporte Fretado de Passageiros	25
Tabela 2 - Espaço Consumido versus Passageiros Transportados	27
Tabela 3 - Indicadores Comparativos de Eficiência dos Modos de Transporte.....	27
Tabela 4 - Empresas por Porte e Município de Funcionamento.....	71
Tabela 5 - Relação entre Município de Trabalho e Residência.....	72
Tabela 6 - Modos de Transporte entre Residência e Trabalho	73
Tabela 7 - Tempo de Viagem versus Redução de Produtividade	78
Tabela 8 - Relação entre Término e Início da Jornada de Trabalho	80
Tabela 9 - Tempo de Viagem Residência-Trabalho por Município.....	81
Tabela 10 - Tempo de Viagem Trabalho-Residência por Município.....	82
Tabela 11 - Dados do Sistema de Transporte AMT	100
Tabela 12 - Tipos e Características dos Veículos	110
Tabela 13 - Tabela de Rotas do Modo de Operação <i>Delivery</i>	121
Tabela 14 - Características dos Cenários de Testes.....	124
Tabela 15 - Resultados dos Cenários de Testes.....	126
Tabela 16 - Tempo de Viagem do Cenário Base Ajustado	129
Tabela 17- Comparativo de Cenários.....	134

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos Modos de Transporte	22
Quadro 2 - Características do Problema de Roteirização de Veículos.....	29
Quadro 3 - Tipos de Problema de Roteirização de Veículos.....	40
Quadro 4 - Requisitos de Sistemas de Roteirização de Veículos	49
Quadro 5 - Representação de Grafos em <i>Software</i> de Roteirização	51
Quadro 6 - Uso do SIG nas Organizações.....	59
Quadro 7 - Classificação das Aplicações do SIG	60

LISTA DE SIGLAS

AMT - ArcelorMittal Tubarão

ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres

CETURB-GV - Companhia de Transporte Urbano da Grande Vitória

CGIS - *Canada Geographic Information Systems*

CNT - Confederação Nacional do Transporte

COINFRA - Conselho Superior de Infraestrutura

ERP - *Enterprise Resource Planning*

ESRI - *Environmental Systems Research Institute Inc.*

FINDES - Federação das Indústrias do Estado do Espírito Santo

FRESP - Federação das Empresas de Transporte de Passageiros por Fretamento
do Estado de São Paulo

IJSN - Instituto Jones dos Santos Neves

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia

PCC - Problema do Carteiro Chinês

PCV - Problema do Caixeiro Viajante

PRV - Problema de Roteirização de Veículos

PMV - Prefeitura Municipal de Vitória

RMGV - Região Metropolitana da Grande Vitória

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SIG-T - Sistema de Informação Geográfica para Transporte

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	18
1.2 MOTIVAÇÃO.....	18
1.3 OBJETIVOS.....	19
1.3.1 Objetivo Geral.....	19
1.3.2 Objetivos Específicos.....	19
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	22
2.1 TRANSPORTE FRETADO.....	22
2.1.1 Classificação dos Modos de Transporte.....	22
2.1.2 Transporte Fretado de Empregados.....	23
2.2 PROBLEMAS DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS.....	28
2.2.1 Teoria dos Grafos.....	29
2.2.2 Classificação dos Problemas de Roteirização de Veículos.....	33
2.2.3 Tipos de Problemas de Roteirização de Veículos.....	36
2.2.4 Formulação Matemática do PRV.....	40
2.2.5 Método de Clarke e Wright.....	42
2.2.6 Topologia das Rotas.....	45
2.2.7 Complexidade Computacional.....	46
2.2.8 <i>Softwares</i> de Roteirização.....	47
2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA - SIG.....	55
2.3.1 Conceitos e Definições.....	56
2.3.2 Componentes de um SIG.....	57
2.3.3 Aplicações de SIG.....	58

2.3.4	Sistemas de Informação Geográfica para Transporte (SIG-T).....	61
2.3.5	O <i>Software</i> TransCAD.....	64
3	PROCEDIMENTO PROPOSTO.....	67
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	67
3.2	DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA	68
3.2.1	Aspectos Geográficos e de Mobilidade Urbana.....	69
3.2.2	Perfil das Empresas.....	70
3.2.3	Perfil dos Trabalhadores.....	71
3.2.4	Eixo e Forma de Locomoção.....	72
3.3	CRITÉRIOS DE OTIMIZAÇÃO DE ROTAS.....	75
3.3.1	Redução de Custo Operacional.....	76
3.3.2	Redução de Tempo de Viagem.....	78
3.4	MODELAGEM DO PROBLEMA NO <i>SOFTWARE</i> TRANSCAD.....	83
3.4.1	Preparação da Entrada de Dados.....	83
3.4.2	Criação da Matriz de Roteirização.....	90
3.4.3	Resolução do PRV.	92
3.4.4	Apresentação dos Resultados.....	92
4	APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO	94
4.1	DELIMITAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO.....	94
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO TRANSPORTE DE EMPREGADOS	96
4.2.1	Aspectos da Demanda de Transporte.....	97
4.2.2	Aspectos da frota.....	98
4.2.3	Aspectos da Distribuição das Linhas de Ônibus.....	98
4.2.4	Aspectos de Gestão e Controle Operacional.....	99
4.2.5	Dados do Sistema de Transporte para Modelagem do Problema.....	99

4.3	MODELAGEM DO PROBLEMA DE TRANSPORTE DE EMPREGADOS NO TRANSCAD.....	104
4.3.1	Preparação dos Dados de Entrada para Solução do Problema.....	105
4.3.2	Criação da Matriz de Roteirização para Solução do Problema.....	111
4.3.3	Resolução do Problema de Transporte de Empregados.....	117
4.3.4	Apresentação dos Resultados da Roteirização.....	117
4.4	TESTES DE CENÁRIOS.....	123
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	125
5.1	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	125
5.2	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	127
5.2.1	Cenário Base.....	127
5.2.2	Cenário 1.....	130
5.2.3	Cenário 2.....	131
5.2.4	Cenário 3.....	131
5.2.5	Análise Comparativa entre os Cenários Testados.....	132
6	CONCLUSÕES.....	136
7	REFERÊNCIAS.....	138
	ANEXOS.....	150
	ANEXO A – RELATÓRIO DE ITINERÁRIO DO MODO DE OPERAÇÃO PICKUP	151
	ANEXO B – RELATÓRIO RESUMO DO MODO DE OPERAÇÃO PICKUP.....	153
	ANEXO C – TABELA DE ROTAS DO MODO DE OPERAÇÃO PICKUP	154
	ANEXO D – RELATÓRIO DE ITINERÁRIO DO MODO DE OPERAÇÃO DELIVERY	155
	ANEXO E – RELATÓRIO RESUMO DO MODO DE OPERAÇÃO DELIVERY ...	157
	ANEXO F – TABELA DE ROTAS DO MODO DE OPERAÇÃO DELIVERY	158

1 INTRODUÇÃO

Dentre os vários desafios impostos por uma sociedade de consumo, destaca-se o de fazer com que os sistemas de transporte atendam de forma eficiente as demandas de deslocamento de pessoas e de bens.

A falta ou deficiência de políticas públicas adequadas ao transporte urbano e ao uso do solo, a industrialização acelerada, o aumento da densidade demográfica e as facilidades de crédito para aquisição de automóveis formam um cenário de mobilidade urbana preocupante.

As cidades brasileiras apresentam problemas sérios de transporte e qualidade de vida, como por exemplo: queda da mobilidade e da acessibilidade; aumento dos congestionamentos; aumento nos impactos ambientais produzidos pelos sistemas de transportes, sobretudo poluição atmosférica e sonora; altos índices de acidentes de trânsito; maiores tempos de viagem e conseqüente redução na qualidade de vida dos moradores. Esta situação decorre de fatores sociais, políticos e econômicos, mas resulta também de decisões passadas relativas às políticas urbanas, de transporte e trânsito (BALASSIANO, 1997).

De acordo com Lerner (2009), a maioria das cidades do Brasil tem crescido de forma desordenada e explosiva, e o resultado, no que se refere ao transporte público, tem sido a formação de um emaranhado de linhas de ônibus operando com grande desperdício de tempo e de custos.

Diante do déficit quantitativo e qualitativo do transporte público evidenciado no dia a dia dos trabalhadores brasileiros, surge como alternativa de transporte, sobretudo para a indústria, o transporte fretado.

Para Santos e Pinto (2003), o aumento de produtividade dos trabalhadores, a queda do número de faltas ou atrasos ao serviço, a invulnerabilidade às greves do sistema de transporte público, a comodidade, a rapidez, a disponibilidade, e a não

discriminação de classes são algumas das vantagens do transporte de empregados pelo serviço de fretamento.

Com a evolução da tecnologia, empresas de transporte podem obter rotas mais eficientes por meio de estudos de roteirização baseado em sistemas de informações geográficas.

Estes estudos de roteirização podem ser realizados para obtenção de rotas em condições de custos mínimos e baseados na rede georreferenciada com procedimentos de distribuição otimizada, com redução de quilometragem percorrida, combustível e tempo, considerando melhores horários de circulação, melhor aproveitamento da capacidade dos veículos, redução no número de veículos utilizados, dentre outros (VERLANGIERI, 1999).

Segundo Mapa (2005), o mercado dispõe de um número razoável de *softwares* com aplicações em transportes, os chamados SIG-T. São *softwares* compostos por rotinas logísticas de localização de facilidades, roteirização e programação de veículos, aplicações em monitoramento e controle do tráfego, oferta e demanda de transportes, prevenção de acidentes, dentre outras.

Neste estudo, foi empregado o *software* TransCAD, que permite a realização de diversos estudos e análises de transportes e possui um banco de dados projetado para receber e armazenar dados, como por exemplo, de redes de transportes, fluxos de carga, rotas, programação, análise de transportes interzonais, demanda de passageiros, desempenho do sistema de transportes e outros, podem ser armazenados, visualizados e analisados em qualquer escala espacial. O TransCAD possui potencialidades para analisar vários tipos de redes, como de transporte público, metrovias, ferrovias, rodovias, aerovias, submarinas ou multimodais.

1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O problema a ser estudado se refere à logística de coleta e distribuição física de empregados por uma frota de veículos fretados, especificamente do transporte de ida e volta do trabalho, mas se aplica também a qualquer outro tipo de transporte coletivo de pessoas que pertençam a um determinado grupo.

Este estudo pretende mostrar que a roteirização de veículos para coleta e distribuição física de empregados com apoio de um sistema de informações geográficas, permite aos gestores e operadores obter ganhos quantitativos e qualitativos no planejamento e operação do sistema de transporte, a partir da construção de rotas mais eficientes em termos de distâncias, tempos de viagem e custos operacionais.

1.2 MOTIVAÇÃO

A motivação para o trabalho está nas precárias condições de mobilidade urbana das cidades de médio e grande porte brasileiras, entre as quais a Região Metropolitana da Grande Vitória, que está na área de influência deste trabalho.

De acordo com Lerner (2009), a tendência é de que este problema se agrave, com reflexos negativos na produtividade, no meio ambiente urbano e na qualidade de vida. *“Ninguém produz bem depois de desperdiçar tempo e energia para chegar ao trabalho”*. Parece ser esta a grande motivação das empresas para investir em transporte próprio de seu pessoal.

De acordo com um estudo do IPEA (2002), à medida que aumenta o tempo gasto no trajeto residência-trabalho, tem-se uma perda da capacidade laborativa das pessoas. Esta perda de produtividade cresce progressivamente a partir de 40 minutos de viagem.

Segundo Luz (2010), as propostas para solução do problema de mobilidade urbana da Região Metropolitana da Grande Vitória incluem a construção de túneis, pontes,

faixas exclusivas para ônibus, transporte aquaviário e metrô. Todas estas propostas ainda sem qualquer aplicação prática, tornando os deslocamentos um grande gargalo, principalmente para aqueles trabalhadores que dependem do transporte coletivo público para deslocarem-se até suas respectivas empresas. As consequências de um sistema de transporte coletivo a beira do caos são atrasos ao trabalho, estresse e perda de produtividade do trabalhador, afetando com isto, os resultados das empresas.

A relevância do tema proposto por este trabalho está justamente no estudo daquela que parece ser uma das alternativas ao caos de mobilidade urbana vivido diariamente pelos trabalhadores das cidades, ou seja, da logística de distribuição física dos empregados de uma das 4 (quatro) grandes empresas da Região Metropolitana da Grande Vitória, que juntas oferecem transporte próprio para 10.880 empregados, cerca de 12% do total de trabalhadores do setor industrial. A empresa objeto deste estudo, localizada no município da Serra, responde sozinha por 4.037 empregados transportados, equivalente a 37% deste total.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral propor um procedimento para roteirização da coleta e distribuição física de empregados por uma frota de ônibus fretada, em suas viagens de ida e volta do trabalho, com apoio de um sistema de informações geográficas.

1.3.2 Objetivos Específicos

Visando o objetivo geral, deverão ser atingidos os seguintes objetivos específicos:

- Fazer uma revisão bibliográfica sobre o tema, visando conhecer a teoria que o consubstancia;

- Estudar as rotinas de roteirização do TransCAD, visando conhecer suas potencialidades;
- Elaborar o procedimento a ser proposto, de forma que a roteirização seja feita com os recursos disponíveis no TransCAD;
- Validar o procedimento proposto por meio de uma aplicação, envolvendo:
 - a) Análise e complementação da base de dados geográficos georreferenciados da região delimitada para a aplicação do estudo;
 - b) Coleta, análise e tratamento dos dados da demanda e da oferta de transporte da empresa objeto deste estudo;
 - c) Modelagem do problema no TransCAD, utilizando seus recursos;
 - d) Utilização do TransCAD para roteirização, de acordo com o modo de operação pretendido;
 - e) Análise dos resultados do procedimento de roteirização.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada em seis capítulos, iniciando-se com a presente introdução.

No capítulo 2 é apresentada a revisão de literatura. Inicia-se com a apresentação do Sistema de Transporte Fretado. Em seguida, apresenta os Problemas de Roteirização de Veículos – PRV. Conclui, com a apresentação do Sistema de informações geográficas – SIG.

No capítulo 3 é demonstrado o procedimento de roteirização proposto para a solução de problemas de coleta e entrega aplicada ao transporte de empregados em suas viagens de ida e volta do trabalho.

No capítulo 4 é realizada a aplicação do procedimento de roteirização proposto por meio de um estudo de caso em uma empresa siderúrgica de grande porte localizada na Região da Metropolitana da Grande Vitória.

No capítulo 5 é feita a apresentação e análise dos resultados da aplicação do procedimento.

Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões do estudo, destacando-se suas contribuições e recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é apresentada a revisão da literatura que consubstancia o tema deste estudo.

2.1 TRANSPORTE FRETADO

Nesta seção são feitas as classificações dos modos de transporte, a partir da qual é feita uma revisão bibliográfica sobre o transporte fretado de empregados, abordando seu surgimento, características, perfil e vantagens.

2.1.1 Classificação dos Modos de Transporte

Uma das classificações mais difundidas sobre os modos de transporte urbano de passageiros é proposta por Vuchic (2007). Segundo esta classificação, os modos de transporte são divididos em três grandes grupos: privado, público e semi-público (Quadro 1).

Modo de Transporte	Características	Exemplo
Privado	<ul style="list-style-type: none"> – Usuário é proprietário do veículo; – Usuário possui total flexibilidade no tempo e no espaço. 	– A pé, bicicleta, motocicleta, automóvel e veículo com tração animal.
Público	<ul style="list-style-type: none"> – Veículos percorrem rotas e horários pré-definidos; – Veículos de maior capacidade; – Veículos não possuem flexibilidade espacial nem temporal; – Veículos podem ser usados livremente pelos usuários mediante pagamento de uma tarifa à operadora. 	– Ônibus, trólebus, metrô e trem de superfície, Veículo leve sobre trilhos (VLT).
Semi-público	<ul style="list-style-type: none"> – Possuem características intermediárias entre o modo privado e o público. 	– Táxi, carona programada (<i>carpool</i>), lotação, veículos fretados ou de aluguel.

Quadro 1- Classificação dos Modos de Transporte

Fonte: Vuchic (2007).

De acordo com Ferraz e Torres (2001), os modos de transporte semi-públicos, que operam em complemento ao transporte coletivo público, ou seja, ao transporte de massa, são divididos em três subgrupos: privado com uso modificado, contratado e regular flexível.

No subgrupo privado com uso modificado encontram-se os carros alugados e utilizados em transporte solidário - *carpool*. O subgrupo contratado engloba as peruas de transporte compartilhado e os veículos fretados. Os modos táxi, transporte programado por telefone - *dial a ride* e as lotações que realizam os transportes desregulamentados, pertencem ao subgrupo dos veículos regulares flexíveis.

2.1.2 Transporte Fretado de Empregados

O transporte coletivo fretado ou semi-público no modo ônibus no Brasil surgiu da demanda das grandes fábricas na região do ABC em São Paulo, que necessitavam fazer o transporte pontual de ida e volta do trabalho de seus funcionários nos diversos turnos de produção, localizados em locais nem sempre atendidos por linhas regulares do transporte coletivo público (LIMA, 2001).

De acordo com Lima (2001), as características levadas em consideração para a instalação de uma indústria, tais como, disponibilidade de matéria-prima, mercado consumidor e valor do terreno, podem indicar uma localização desprovida de infraestrutura de transporte de passageiros, tornando inviável a operação de linhas regulares com frequência suficiente para atendimento as viagens ao longo do dia no nível de serviço requerido pelo empregador e usuário.

Para Souza (2004), a demanda por transporte coletivo fretado não está ligada somente ao déficit quantitativo de transporte coletivo público, mas também ao déficit qualitativo. Como déficit qualitativo do transporte público que contribuíram para o surgimento do transporte coletivo fretado, pode-se citar: saturação de veículos, necessidade de transbordos, carência de integração com outros modos de transporte, falta de pontualidade, comodidade e segurança.

Principais Características

Segundo Alvim (1995), sistema de fretamento é um serviço prestado por pessoa jurídica com a finalidade de transportar passageiros de acordo com os termos de um contrato celebrado entre as partes, representando os interesses mútuos de usuários e prestadores de serviços.

Para Alvim (1995), os serviços de fretamento caracterizam-se como uma modalidade intermediária entre o transporte público e o individual, na medida em que é ao mesmo tempo, coletivo e personalizado – atendimento porta a porta. Também atribui aos serviços de fretamento duas outras características: flexibilidade dos contratos entre as partes e relativa ausência do poder público na fixação das tarifas.

Segundo Kralich (1992), as viagens de fretamento são realizadas de maneira direta entre o ponto inicial e final com um número mínimo de paradas para embarque e desembarque.

Para Carvalho (1984), o tempo de viagem deve considerar a soma dos tempos de subida e descida do veículo, acelerações e desacelerações, congestionamentos e os tempos de interseções. Esta somatória de tempos está relacionada com as condições de operação da linha, desempenho do veículo, com o tráfego e sinalização das vias.

De acordo com sua natureza, os serviços de transporte fretado classificam-se em eventual ou regular. Enquanto que no serviço regular os itinerários são repetidos numa determinada sequência de vezes ou dias, no eventual o serviço é contratado para uma viagem específica, com destino definido (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS, 1979).

Perfil do Setor

O perfil geral do setor de transporte de passageiros sob regime de fretamento é de difícil definição, incluindo o contínuo e eventual para transporte de trabalhadores e o rodoviário ou eventos para turismo interno. Este fato é atribuído as diferenças

econômicas regionais e a amplitude das atividades do setor (REVISTA TRANSPORTE MODERNO, 2009).

Segundo a ANTT (2008), existiam 3.456 empresas de fretamento habilitadas para operar, dentre as 5.721 cadastradas. São 35.438 veículos cadastrados e 27.649 habilitados para operar. Ao compararmos os 71 termos de autorização de fretamento contínuo com a quantidade de empresas habilitadas para operar, nos parece que a maioria das empresas habilitadas é para fretamento eventual (Tabela 1).

Tabela 1 – Dados do Setor de Transporte Fretado de Passageiros

Situação	Quantidade
Empresas Cadastradas	5.721
Empresas Habilitadas	3.456
Veículos Cadastrados	35.438
Veículos Habilitados	27.649
Termos de Autorização de Fretamento Contínuo	71

Fonte: ANTT (2008).

De acordo com a ANTT (2008), das 3.456 empresas habilitadas, a maioria é de pequeno porte, com frota de até 5 veículos. Segundo estimativas do órgão, existem outras 100 a 500 funcionando de maneira precária (Figura 1).

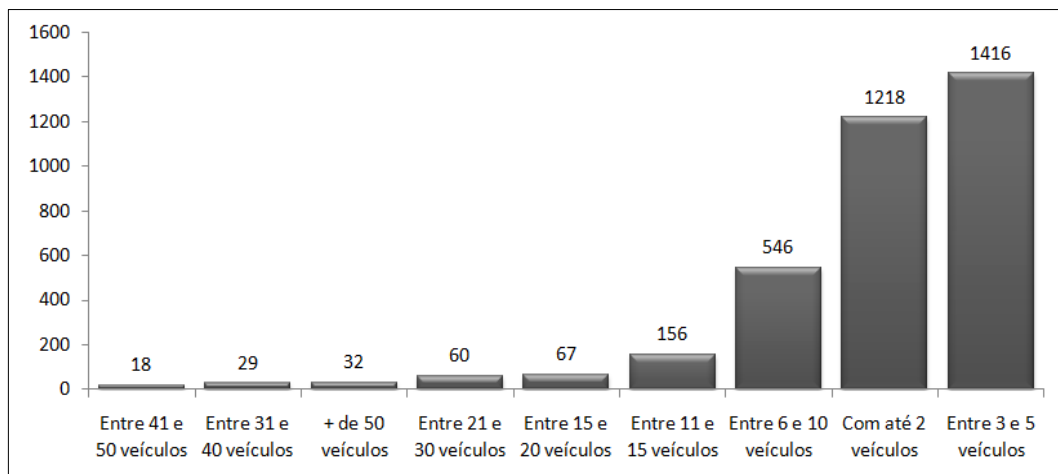


Figura 1 - Estimativa de distribuição da frota de veículos de passageiros fretado
Fonte: Transporte Moderno (2009).

De acordo com a CETURB-GV, existem 55 empresas de fretamento cadastradas na RMGV, sendo que grande parte delas possui entre 3 (três) e 15 (quinze) veículos.

Principais Vantagens

De acordo com Leme e Marques (1991), o uso do ônibus fretado como substituto do veículo próprio possibilita aos usuários redução de gastos com combustíveis e estacionamento e, redução do desgaste pessoal em decorrência do trânsito e poluição. Acrescentam-se ainda, como vantagens do uso do ônibus em relação ao automóvel: o menor impacto causado ao meio ambiente – pela redução das taxas de emissão de poluentes e, a menor ocupação das vias.

Com o intuito de atrair os proprietários/usuários de veículos particulares para o sistema de transporte fretado, as empresas prestadoras deste tipo de serviço, atribuem outras vantagens no uso do ônibus, como por exemplo: a maior privacidade, o conforto das poltronas, a segurança do veículo e os preços das tarifas competitivos em relação aos coletivos regulares urbanos. Algumas outras vantagens são divulgadas para os clientes, como: solução para redução de engarrafamentos, rodízios, acidentes de trânsito, estresse, horas perdidas no trânsito, pedágio, má qualidade de vida, dentre outras (LIMA, 2001).

Segundo MCT (2006), cerca de 9% das emissões de CO₂ no Brasil são provenientes do setor de transportes (Figura 2a), sendo que a contribuição dos ônibus é a menor, 7%, enquanto que dos caminhões a maior, 44% (Figura 2b).

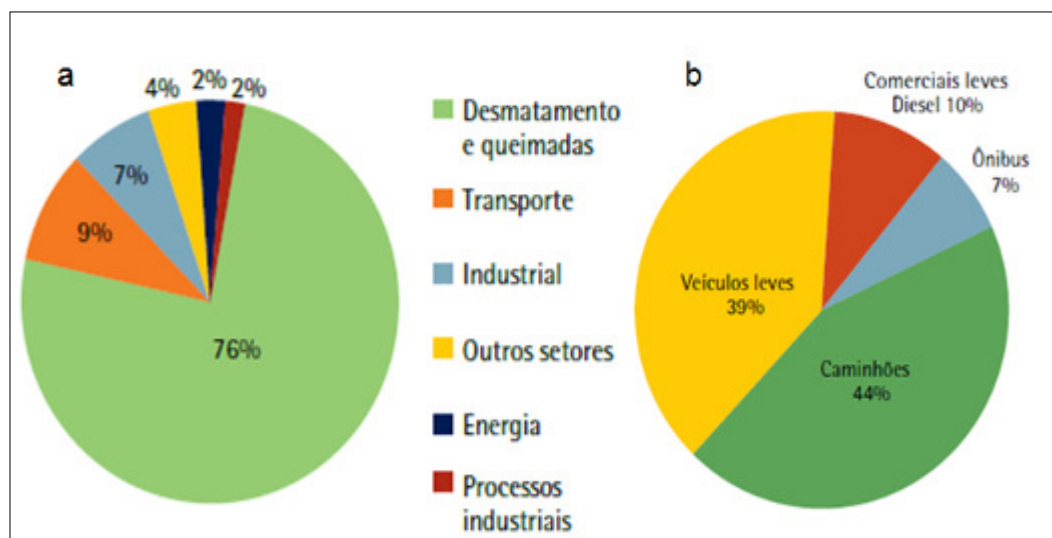


Figura 2 – Emissões de CO₂ no Brasil (a) por segmento (b) por tipo de veículo
Fonte: MCT (2006).

De acordo com uma pesquisa realizada pela CNT (2002), em corredores de transporte de onze grandes cidades brasileiras, o índice de eficiência referente ao espaço viário consumido pela quantidade de passageiros transportados é de 7,9 no modo ônibus, contra 2,8 de peruas e vans e 1,0 do automóvel (Tabela 2).

Tabela 2 - Espaço Consumido versus Passageiros Transportados

Modo	% Via Utilizada	% de Passageiros Transportados	Índice de Eficiência
Automóvel		0,35%	1,0
Peruas e Vans	1% de Via	1%	2,8
Ônibus		2,8%	7,9

Fonte: CNT (2002).

Segundo dados da ANTP (2002), os índices de energia, poluição, custos totais e ocupação de área de via dos modos de transporte por motocicletas e automóveis são significativamente maiores comparados ao modo ônibus.

Destaca-se que as motocicletas poluem aproximadamente trinta e duas vezes mais e gastam cinco vezes mais energia por passageiro que os ônibus. O automóvel polui dezessete vezes mais e gasta aproximadamente treze vezes mais energia por passageiro que os ônibus (Tabela 3).

Tabela 3 - Indicadores Comparativos de Eficiência dos Modos de Transporte

Modo	Índices Relativos por Passageiro/km ¹			
	Energia ²	Poluição ³	Custo Total ⁴	Área de Via
Ônibus	1,0	1,0	1,0	1,0
Motocicleta	4,6	32,3	3,9	4,2
Automóvel	12,7	17,0	8,0	6,4

Fonte: ANTP (2002).

Conforme apresentada nesta seção, existem diversas vantagens do transporte fretado de empregados no modo ônibus em relação ao transporte público e outros modos de transporte. Porém, cabe destacar que estas vantagens, por si só, não

¹ Taxa de ocupação modo/passageiros: ônibus = 50; moto = 1; Automóvel = 1,3.

² Base calculada em gramas equivalentes de petróleo (diesel e gasolina).

³ Monóxido de Carbono (CO); Hidrocarbonetos (HC); Óxidos de Nitrogênio (NO_x); Material Particulado (MP).

⁴ Custos totais = Custos Fixos + Custos Variáveis.

garantem eficiência do fretamento em termos de custos e nível de serviço. Portanto, faz-se necessário estudar como a roteirização pode contribuir para esta eficiência.

2.2 PROBLEMAS DE ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

Nos diversos ramos da Engenharia, dentre elas a Engenharia de Transportes, são comuns os problemas que podem ser modelados e solucionados com emprego de técnicas de pesquisa operacional. Estes problemas podem ser classificados em diversos grupos, tais como problemas de sequenciamento, alocação, roteirização, substituição, filas, competição e busca.

Segundo Cunha (1997), o termo roteirização de veículos é a forma que vem sendo utilizada como equivalente ao inglês “*routing*” para designar o processo para a determinação de um ou mais roteiros ou sequências de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de pontos geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, que necessitam de atendimento. Quando a definição dos roteiros envolve além dos aspectos espaciais ou geográficos, aspectos temporais, tais como restrições de horários de atendimento nos pontos a serem visitados, os problemas de roteirização de veículos são então denominados roteirização e programação de veículos.

O Problema de Roteirização de Veículos consiste em definir roteiros de veículos que minimizem o custo total de atendimento, cada um dos quais iniciando e terminando no depósito ou base dos veículos, assegurando que cada cliente seja visitado exatamente uma vez e a demanda total de qualquer rota não exceda a capacidade do veículo que a atende (LAPORTE et al., 2000).

Os problemas de roteirização de veículos tem um papel fundamental na área de logística. Suas soluções resultam em rotas de menor custo, distância ou tempo, partindo de um ou mais depósitos para certo número de clientes, sujeito a restrições adicionais (ARELANES et al., 2007).

A roteirização de veículos abrange um conjunto muito grande de diferentes tipos de problemas. Segundo Bodin et al. (1983), existe um conjunto de características a serem consideradas no PRV (Quadro 2).

Item	Características	Opções
1	Tamanho da frota	Um veículo; mais de um veículo
2	Depósito de Veículos	Um depósito, diversos depósitos
3	Natureza da Demanda	Determinística; estocástica; atendimento parcial da demanda
4	Localização da Demanda	Nos nós; nos arcos; mista
5	Tipo da Frota	Homogênea; heterogênea; veículos especiais
6	Direção da Rede	Orientada; não orientada; mista
7	Capacidade dos Veículos	Imposta fixa; imposta variada; não imposta
8	Tempo Máximo da Rota	Imposto fixa; imposto variada; não imposto
9	Operações	Somente carregamento; descarga somente; mista; <i>backhauls</i> ⁵
10	Custo	Variável ou por rotas; custo fixo
11	Carga	Um único produto; diversos produtos

Quadro 2 – Características do Problema de Roteirização de Veículos

Fonte: Bodin et al.(1983).

Sabe-se que a maioria dos problemas de roteirização de veículos é baseada nos conceitos advindos da Teoria dos Grafos. Assim, torna-se necessário conhecer, basicamente, alguns de seus conceitos.

2.2.1 Teoria dos Grafos

Segundo Feofiloff (2009), a Teoria dos Grafos estuda entidades, os grafos, que servem de modelo para muitos problemas em vários ramos da Matemática, da Computação, da Engenharia, da Indústria e dos Transportes.

Segundo Campos (1997), grafos são estruturas diagramáticas capazes de modelar muitas redes físicas, tais como telefone, oleodutos, distribuição de água e transportes. Podem ser representados por figuras geométricas, formada de pontos ou nós e de linhas ou arestas que ligam alguns destes pontos.

⁵ Rota na qual não existe mistura de carregamento e descarga, o veículo vai até o ponto mais distante carregando e volta descarregando, o oposto também pode ocorrer.

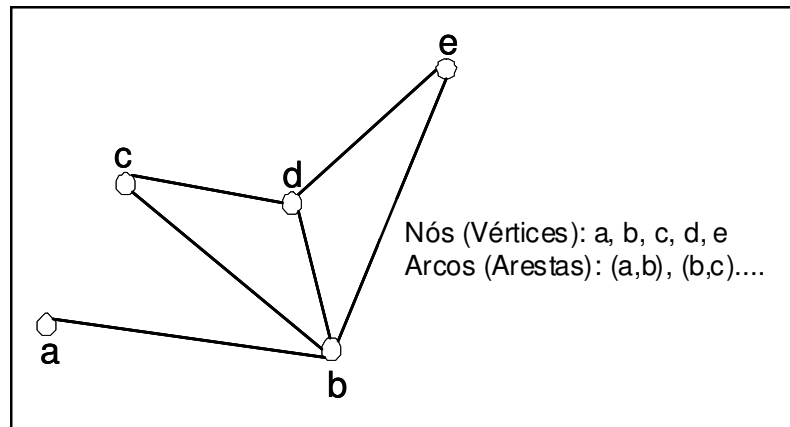


Figura 3 - Grafo básico

Matematicamente, um grafo $G = (X,A)$ é uma estrutura composta por um conjunto $X = \{x^1, x^2, \dots, x^n\}$ de elementos chamados vértices ou nós e um conjunto $A = \{a^1, a^2, \dots, a^m\}$, de pares de elementos, chamados arcos ou arestas. O elemento $a^k = (x_i, x_j)$ é um arco que possui como extremidades os vértices x_i e x_j que pertencem ao conjunto X . Conforme apresentado na Figura 3, o grafo correspondente seria descrito da seguinte forma:

- $X = \{a, b, c, d, e\}$;
- $A = \{(a, b), (b, c), (b, d), (b, e), (c, d), (d, e)\}$

Os grafos podem ser classificados da seguinte forma:

- Quanto à Orientação: Os grafos podem ser orientados (Figura 4a) ou não orientados (Figura 4b). São orientados quando seus arcos tem um sentido definido, ou seja, um nó definido como extremidade inicial (origem) e o outro nó de extremidade final (destino). Os arcos orientados são representados por uma seta indicando o sentido dos mesmos. Nos grafos não orientados não existe esta noção de sentido único e, nestes casos, os arcos são chamados de arestas (NOVAES, 1989; LACERDA, 2003; BOAVENTURA e JURKIEWICZ, 2009);

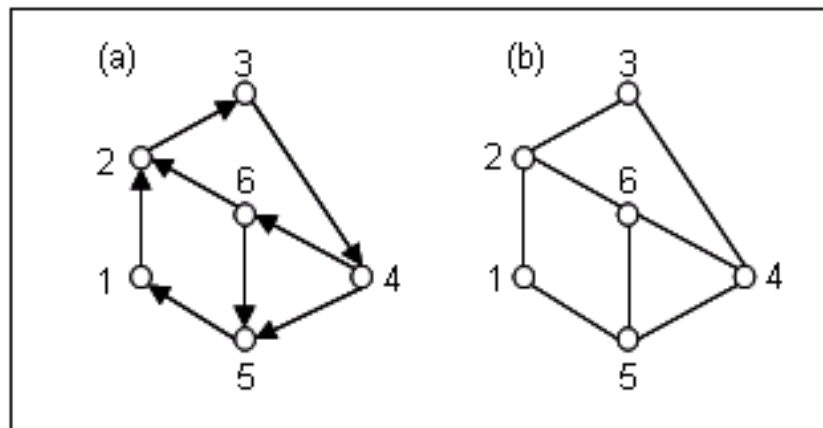


Figura 4 – Grafo: (a) Orientado (b) Não Orientado
Fonte: Adaptado de Novaes (1989).

- Quanto à Escala ou Valor: Os grafos podem ter ou não escalas ou como também é dito, podem ser ou não valorados. Nos grafos valorados os arcos recebem valores ou pesos, positivos ou negativos. Num caso mais complexo, é possível atribuir valores tanto a arcos quanto aos nós. Uma rede é um grafo valorado (CAMPOS, 1997);
- Quanto à Planaridade: Um grafo planar é aquele em que os arcos somente se tocam sobre um vértice ou nó, podendo conseqüentemente, ser projetado sobre um plano sem perder suas características. Um grafo não planar, no entanto, quando projetado sobre um plano, apresenta interseções de arcos não coincidentes com um nó, em virtude de sua estrutura espacial (CAMPOS, 1997).

Segundo Campos (1997), os grafos contêm os seguintes elementos:

- Laço: É um arco que se inicia num nó e termina nele mesmo;
- Arco ou Nó Incidente: Um arco ou nó é incidente a outro nó quando este é destino ou origem do arco. Nos grafos orientados, diz-se que um arco é incidente interiormente a um nó quando este é destino deste arco, ou incidente exteriormente quando o mesmo é origem do arco;
- Grau de um Nó: É medido pelo número de arcos incidentes num determinado nó. No caso de grafo orientado existe a noção de semigrau interior, número de arcos incidentes interiormente ao nó (chegando à ele), e semigrau exterior

que corresponde ao número de arcos incidentes exteriormente ao nó (saindo dele);

- Vértices Adjacentes: Dois vértices são considerados adjacentes um ao outro se existe um arco unindo-os;
- Cadeia: é uma sequência de arcos de um grafo (orientado ou não), tal que cada arco tem uma extremidade em comum com o antecedente (à exceção do primeiro) e a outra extremidade em comum com o arco subsequente (à exceção do último). O conceito de cadeia é de grafo não orientado e o tamanho de uma cadeia corresponde ao número de arcos que a compõem;
- Caminho: é uma cadeia na qual todos os arcos possuem o mesmo sentido. O conceito de caminho é, portanto, orientado;
- Cadeia ou Caminho Simples ou Elementar: são considerados simples quando não repetem ligações (arcos). São elementares quando não repetem vértices;
- Ciclo: é uma cadeia simples na qual o nó inicial e o nó final se confundem (cadeia fechada);
- Circuito: é um caminho simples e fechado em um grafo orientado.

Para Novaes (1989), a conectividade numa rede de transporte está associada ao conceito de trilha (Figura 5). Em um grafo não orientado a trilha é uma sequência de nós e de arcos adjacentes, enquanto que no grafo orientado as trilhas são igualmente orientadas. Se cada arco aparece apenas uma vez na sequência de arcos, a trilha é simples (Figura 5a). Quando os nós iniciais e finais coincidem, a trilha forma um circuito (Figura 5b).

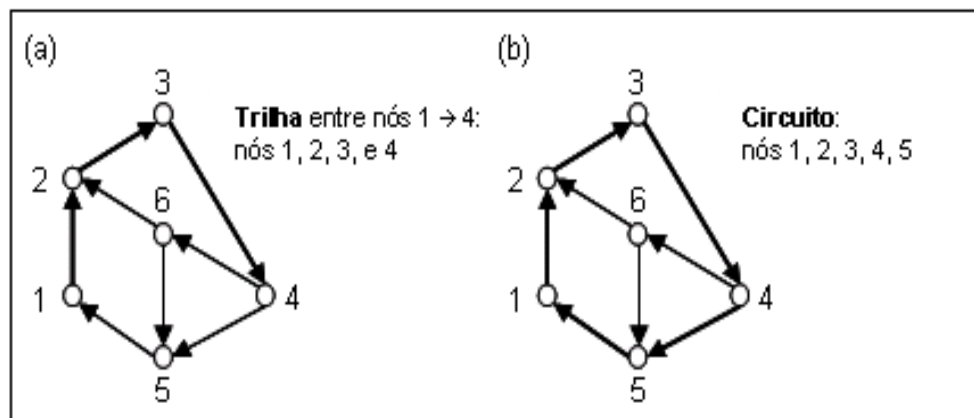


Figura 5 – Rede de transporte: (a) Trilha (b) Circuito
Fonte: Adaptado de Novaes (1989).

Para Castro (2006), existem dois conceitos básicos envolvendo grafos, são eles:

- Roteiro de Euler: é um circuito que atravessa todos os arcos de um grafo somente uma vez;
- Trilha de Euler: é uma trilha que cobre todos os arcos de um grafo somente uma vez.

Para Brejon e Belfiore (2006), a grande quantidade de parâmetros dificulta a modelagem e solução dos problemas de roteirização. Daí à importância de se classificar adequadamente os problemas de roteirização para permitir uma melhor compreensão de seus aspectos mais relevantes, a partir daqui.

2.2.2 Classificação dos Problemas de Roteirização de Veículos

Foram pesquisadas três diferentes classificações para problema de roteirização de veículos (BODIN et al., 1983; RONEN, 1988; NOVAES, 1989), as quais serão apresentadas a seguir.

Segundo Bodin et al. (1983), os problemas de roteirização podem ser classificados em:

- Problemas de roteirização pura: onde não há restrições temporais por parte dos clientes, ou seja, não há nenhum horário pré-estabelecido, nem relações de precedência entre os clientes, ou seja, nenhum cliente precisa ser atendido especificamente antes ou depois de algum determinado cliente. Num problema desse tipo apenas os aspectos espaciais são levados em consideração. Neste caso, o objetivo é construir um conjunto de rotas viáveis e de menor custo;
- Problemas de Programação de Veículos: quando a definição das rotas deve levar em consideração horários pré-estabelecidos para cada atividade a ser executada, como por exemplo, horário limite para chegada e saída dos pontos de demanda, horário de saída do depósito, parada para reabastecimento, dentre outros. Nesse tipo de problema, a elaboração das

rotas leva em consideração, além dos aspectos espaciais dos problemas, também os aspectos temporais. Problemas de programação de veículos e tripulações são encontrados no transporte aéreo, ferroviário, por ônibus, dentre outros;

- Problemas Combinados de Roteirização e Programação de Veículos: quando existe algum tipo de restrição de precedência e ou janela de tempo. Relações de precedência ocorrem, por exemplo, quando a entrega de uma mercadoria deve ser precedida pela sua coleta. Janelas de tempo são restrições horárias normalmente associadas ao intervalo desejado para que um dado serviço seja executado num cliente. Podem existir outros tipos de janela de tempo, como, por exemplo, o intervalo de tempo que um veículo fica disponível, ou o intervalo de tempo em que o depósito(s) fica disponível ao(s) veículo(s). Em problemas combinados tanto os aspectos espaciais quanto temporais são levados em consideração.

Nesta última categoria estão os problemas que ocorrem na prática, como por exemplo: O problema de roteirização e programação de ônibus escolares para atendimento de um conjunto de escolas; O problema de roteirização e programação de serviços de transporte de pessoas, conhecidos como “*dial-a-ride*”, em geral para o transporte porta-a-porta de idosos e deficientes.

Na literatura especializada, o tipo de problema aqui estudado é classificado como um “Problema Clássico de Roteirização de Veículos” de cobertura em nós, de base única ou múltipla, múltiplas rotas, múltiplos veículos com restrição de capacidade, restrição de tempo e demandas determinísticas (BODIN et al., 1983).

De acordo com Ronen (1988), a classificação dos diversos problemas de roteirização e programação são baseadas nos ambientes operacionais e objetivos a serem alcançados:

- Problemas relativos ao transporte de passageiros: programação de linhas de ônibus; de sistemas de táxi; de sistemas de transporte de pessoas, em geral idosos e deficientes, conhecidos como “*dial-a-ride*”; de transporte de escolares por ônibus, entre outros;

- Problemas de prestação de serviços: roteirização e programação de equipes de reparos ou de serviços públicos, tais como de coleta de lixo, entrega postal, varrição de ruas e leitura de parquímetros, entre outros;
- Problemas relativos ao transporte de carga - coleta e distribuição.

Para Novaes (1989), a roteirização de veículos pode ser classificada em problemas envolvendo coberturas de vias ou arcos e problemas envolvendo cobertura de nós:

- Problema de Cobertura de Vias (Arcos): nos problemas de roteirização em arcos, o objetivo é determinar o menor custo de travessia sobre um conjunto de arcos especificados de um grafo, com ou sem restrições. Este problema aparece em diversas aplicações práticas, tais como: entrega domiciliar de jornais, dimensionamento de serviços de coleta domiciliar de lixo, entrega domiciliar de jornais, dimensionamento de equipes para entrega postal (correio), entre outros (EISELT; GENDREAU; LAPORTE, 1995);

Um problema clássico de cobertura de vias é o “Problema do carteiro chinês - PCC”. O PCC é um problema de otimização, onde o veículo ou o indivíduo deve sair de um nó e voltar a ele passando por todos os arcos do grafo uma única vez, objetivando minimizar a extensão total percorrida.

- Problema de Cobertura de Nós: os problemas envolvendo coberturas de nós são aqueles em que o objetivo é combinar os nós em rotas, objetivando o menor percurso possível, levando em consideração as restrições de capacidade do veículo e a carga de trabalho dos funcionários (LACERDA, 2003).

Enquadram-se como clássicos neste tipo de problema, o “Problema do Caixeiro Viajante⁶ (PCV)” e o “Problema de Roteirização de Veículos com um único depósito e vários veículos (PRV)⁷”.

⁶ “PCV”, é um problema de otimização muito utilizado em logística. Pertence à categoria NP-Completo, cujo esforço computacional necessário para a sua resolução cresce exponencialmente com o tamanho do problema (CUNHA, 2002).

⁷ “PRV”, é um dos mais estudados problemas na área da otimização combinatória. Apresenta elevada complexidade computacional, sendo interessante no teste de diversas heurísticas.

2.2.3 Tipos de Problemas de Roteirização de Veículos

Esta subseção apresenta os principais tipos de roteirização e programação de veículos com base nos trabalhos de Bodin et al. (1983), Goldberg e Luna (2005) e Belfiore (2006).

▪ Problemas de Roteirização Pura

- Problema do Caixeiro Viajante (PCV): Problema clássico, onde se procura determinar um conjunto de rotas de mínimo custo que permitam ao caixeiro viajante (veículo) visitar os nós (clientes) de uma rede. Todos os nós devem ser visitados uma e somente uma vez. Nesse problema não há nenhuma outra restrição. O problema pode ser simétrico, se o custo de deslocamento for invariável com a direção, ou não simétrico, caso contrário;
- Problema de Múltiplos Caixeiros Viajantes (PMCV): extensão do problema do caixeiro viajante, onde vários caixeiros devem visitar todos os nós da rede, saindo de uma base e retornando à mesma. Cada caixeiro deve visitar pelo menos um nó, e cada nó deve ser visitado uma e somente uma vez;
- Problema Roteirização de Veículos (PRV): dado uma rede onde a cada nó está associada uma demanda conhecida, e a cada arco está associado um custo; e dado um conjunto de veículos com restrição de capacidade, deve-se determinar um conjunto de rotas de menor custo, atendendo à demanda de todos os nós. Os veículos devem partir e retornar ao depósito. Esse problema é uma generalização do problema de múltiplos caixeiros viajantes, onde se acrescenta a restrição de capacidade dos veículos;
- Problema de Roteirização de Veículos com Múltiplos Depósitos (PRVMD): extensão do problema clássico de roteirização, onde os veículos devem sair e retornar a um dos depósitos existentes;
- Problema do Carteiro Chinês (PCC): nesse problema, dada uma rede, deve-se determinar um ciclo de custo mínimo que permita ao carteiro (veículo) passar pelo menos uma vez por todos os arcos da rede, onde se localizam os clientes;

- Problema do Carteiro Chinês Capacitado (PCCC): é uma generalização do Problema do Carteiro Chinês, onde há restrição de capacidade dos veículos;
 - Problema de Roteirização com Demanda em Arcos (PRDA): extensão do problema do carteiro chinês, acrescentando-se restrição de capacidade para os veículos. É semelhante ao problema clássico de roteirização, mas com demanda localizada nos arcos ao invés dos nós;
 - Problema do Carteiro Rural (PCR): muito semelhante ao problema do Carteiro Chinês, a diferença está no fato de que nem todos os segmentos da rede de atendimento têm demanda por serviço, o que não obriga seu percurso. A denominação do problema é derivada da semelhança existente com o tipo de percurso realizada por um carteiro em uma zona rural.
- Problemas de Programação
- Problema de Programação de Veículos com Depósito Único (PPVDU): define-se uma rede onde a cada nó está associada uma tarefa com início e duração pré-determinada, e a cada arco pode ser associado um peso que corresponde ao intervalo mínimo entre uma tarefa e outra. Os veículos devem partir e retornar de um único depósito. Deve-se dividir a rede em caminhos, cada um correspondendo à programação de um veículo, de acordo com uma função objetivo. Uma função objetivo que procure minimizar o número de caminhos equivale à minimização do número de veículos empregados e, portanto, equivale à minimização do custo de capital. Uma função objetivo que procure minimizar a soma total dos pesos associados a cada arco equivale à minimização do tempo de trânsito dos veículos e, portanto, equivale à minimização dos custos operacionais. Uma função objetivo que combine as duas anteriores tenta minimizar os custos totais;
 - Problema de Programação de Veículos com Múltiplos Depósitos (PPVMD): extensão do problema de programação, onde cada veículo deve partir de um dos depósitos existentes, e retornar ao mesmo depósito;
 - Problema de Programação de Veículos com Restrição de Duração de Viagem (PPVRDV): extensão do problema de programação acrescentando-se restrições que tentam incorporar os limites de autonomia dos veículos.

Essas restrições podem se referir ao tempo máximo que o veículo pode ficar fora do depósito ou se referir à distância máxima que o veículo pode percorrer antes de retornar ao depósito;

- Problema de Programação de Veículos com Múltiplos Tipos de Veículos (PPVMV): extensão do problema de programação, considerando-se a existência de veículos com diferentes características operacionais;
 - Problema de Programação de veículos com depósito único, vários veículos e demanda Estocástica (PPMVDE): este problema é uma variação do problema clássico de roteirização de veículos, exceto pela demanda não ser conhecida com certeza, podendo ser originada de uma distribuição de probabilidades específicas.
- Problemas Combinados de Roteirização e Programação
- Problema do Caixeiro Viajante com Restrição de Janela de Tempo (PCVRJT): extensão do problema do caixeiro viajante, onde cada nó deve ser visitado numa janela de tempo específica;
 - Problema de Múltiplos Caixeiros Viajantes com Restrição de Janela de Tempo (PMCVRJT): extensão do problema de múltiplos caixeiros viajantes, onde cada nó deve ser visitado numa janela de tempo específica;
 - Problema de Roteirização e Programação de Veículos com Restrição de Janela de Tempo (PRPVRJT): extensão do problema clássico de roteirização, onde cada cliente deve ser visitado numa janela de tempo específica;
 - Problema de Roteirização e Programação de Veículos com Restrição de Janela de Tempo Flexível (PRPVRJTF): extensão do problema de roteirização e programação de veículos com restrição de janela de tempo, porém, permitindo a violação das janelas de tempo mediante pagamento de penalidades;
 - Problema de Coleta e Entrega com Restrição de Janela de Tempo “dial-a-ride” (PCERJT): extensão do problema anterior, onde se acrescenta relações de precedência entre os clientes, conforme a tarefa que o veículo executa no cliente (coleta ou entrega). Num problema desse tipo, as cargas não são transportadas somente entre o depósito e os clientes, mas também entre os

clientes, daí surgindo a relação de precedência. A expressão “*dial-a-ride*” vem de uma aplicação típica, onde os clientes telefonam requisitando a visita de um veículo, e determinando os pontos de origem e destino, bem como os horários correspondentes;

- Problema de Roteirização Multi-Periódica (PRMP): extensão do problema de roteirização e programação de veículos com restrição de janela de tempo, onde os clientes devem ser visitados um determinado número de vezes dentro de múltiplas janelas de tempo, por exemplo, entrega urbana de leite onde cada cliente deve ser visitado três vezes por semana, sempre pela manhã;
- Problema de Roteirização e Programação com Demanda em Arcos (PRPDA): extensão do problema de roteirização com demanda localizada em arcos, acrescentando-se janelas de tempo para que os arcos sejam visitados;
- Problema de Roteirização Costeira “*shoreline*” (PRC): semelhante ao problema de coleta e entrega com restrição de janela de tempo. A diferença consiste em que no problema “*shoreline*” os veículos são embarcações, e a distribuição espacial dos clientes tem características específicas, tipicamente encontradas na roteirização de navios visitando vários portos ao longo da costa.

Os principais tipos de problemas de roteirização de veículos estão caracterizados no Quadro 3.

Denominação	Número de Roteiros	Localização dos Clientes	Limite de Capacidade nos Veículos	Número de Bases	Demandas
Problema do Caixeiro Viajante	Um	Nós	Não	Uma	Determinísticas
Problema do Caixeiro Chinês ⁸	Um	Arcos	Não	Uma	Determinísticas
Problema de Múltiplos Caixeiros Viajantes	Múltiplos	Nós	Não	Uma	Determinísticas
Problema de Roteirização em nós com uma única base	Múltiplos	Nós	Sim	Uma	Determinísticas
Problema de Roteirização em nós com múltiplas bases	Múltiplos	Nós	Sim	Múltiplas	Determinísticas
Problema de Roteirização em nós com demandas incertas	Múltiplos	Nós	Sim	Uma	Estocásticas
Problema de Roteirização em arcos com limite de capacidade	Múltiplos	Arcos	Sim	Uma	Determinísticas

Quadro 3 – Tipos de Problema de Roteirização de Veículos

Fonte: Adaptado de Bodin et al. (1983) apud Cunha (2000).

Considerando os tipos de problema de roteirização de veículos vistos nesta subseção, o problema apresentado neste trabalho é um clássico PRV de cobertura em nós, de base única ou múltipla, múltiplas rotas, múltiplos veículos com restrição de capacidade e demandas determinísticas, acrescentando-se a restrição de tempo.

2.2.4 Formulação Matemática do PRV

Uma formulação básica do problema de roteirização de veículos apresentada por Arenales et al. (2007) é detalhada a seguir:

⁸ Deve-se observar que os problemas listados derivam do problema clássico do caixeiro viajante, com exceção do “problema do carteiro chinês”, em que a demanda se localiza nos arcos ao invés de nos nós e a otimização envolve os percursos ociosos, já que o veículo precisa passar em todos os arcos uma vez para atendimento.

Seja $G = (N, E)$ um grafo orientado completo em que $N = C \cup \{0, n+1\}$, $C = \{1, \dots, n\}$ é o conjunto de nós que representam os clientes, e $0, n+1$ são os nós que representam o depósito. O conjunto $E = \{(i, j) : i, j \in N, i \neq j, i \neq n+1, j \neq 0\}$ corresponde aos arcos associados às conexões entre nós. Todas as rotas começam em 0 e terminam em $n+1$ e nenhum arco termina no nó 0 e nenhum arco começa no nó $n+1$. A cada arco $(i, j) \in E$ está associado um custo c_{ij} e um tempo de viagem t_{ij} que inclui o tempo de serviço do cliente i . Cada cliente i tem uma demanda d_i . No depósito há um conjunto k de veículos idênticos, onde cada veículo $k \in K$ tem capacidade Q . O objetivo é minimizar o custo total das viagens, sujeito as seguintes restrições:

- Cada rota inicia e termina no depósito;
 - Cada cliente pertence somente a uma rota;
 - A demanda total de uma rota não pode exceder a capacidade Q do veículo;
- O tempo de viagem de uma rota não pode exceder o limite D .

Sejam as variáveis:

- $x_{ijk} = 1$, se o veículo k percorre o arco (i, j) , $\forall k \in K, \forall (i, j) \in E$
- $x_{ijk} = 0$, caso contrário.

Assim, a Função Objetivo tem a seguinte formulação:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(ij) \in E} c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N} x_{ijk} = 1, \forall i \in C \quad (2)$$

$$\sum_{i \in C} d_i \sum_{j \in N} x_{ijk} \leq Q, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} t_{ij} x_{ijk} \leq D \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0,jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ihk} - \sum_{j \in N} x_{hjk} = 0, \forall h \in C, \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i,n+1,k} = 1, \forall k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1, \quad S \subset C, 2 \leq |S| \leq \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor, \forall k \in K \quad (8)$$

$$x \in B^{K \setminus E} \quad (9)$$

Onde:

- Função Objetivo (1) representa a minimização do custo total da rota;
- Restrição (2) garante que cada cliente i seja visitado por apenas um veículo;
- Restrição (3) impõe que a demanda total de cada rota do veículo k não excede a capacidade Q do veículo;
- Restrição (4) garante que a duração de cada rota do veículo k não excede o limite D ;
- Restrições (5), (6) e (7) representam restrições de fluxo em redes, que exigem que cada veículo k parta do depósito (nó zero) somente uma vez, deixe o nó h se e somente se entrar neste nó, e retorne ao depósito (nó $n+1$) somente uma vez;
- Restrição (7) são redundantes, mas são mantidas no modelo para enfatizar a estrutura de redes;
- Restrição (8) garante que não sejam formadas sub-rotas, e a restrição (9) indica o tipo de variável.

Se o número de veículos no modelo for um parâmetro fixo ou um limitante superior igual a k , remova o arco $(0, n+1)$. Caso contrário, se o número de veículos é uma variável, atribua um custo c_v a cada veículo usado. Isto é feito impondo-se $c_{0,n+1} = -c_v$. Se c_v é grande, o modelo primeiro minimiza o número de veículos e, depois, minimiza o custo de viagem.

2.2.5 Método de Clarke e Wright

Para resolver problemas de roteirização com um único depósito ou base e vários veículos, pode-se utilizar o método de Clarke e Wright. Esse método se baseia no conceito de “ganho” e pode ser obtido ao se ligar dois nós de forma sucessiva num roteiro (NOVAES, 1989).

A heurística de economia de Clarke e Wright (1964) tem sido muito utilizada e tem apresentado bons resultados durante anos. O método tem a flexibilidade de resolver

uma ampla coleção de restrições práticas e com a vantagem de ser rápido em termos computacionais (BALLOU, 2006).

De acordo com Ballou (2006), o objetivo do método de economias é minimizar a distância total percorrida por todos os veículos e indiretamente minimizar o número de veículos necessário para servir a todas as paradas. O método gera roteiros que respeitam as restrições de tempo (duração máxima da jornada de trabalho) e de capacidade de acordo com as seguintes características:

- Cada rota inicia e termina no depósito;
- Cada cliente pertence somente a uma única rota;
- A demanda de cada cliente não pode exceder a capacidade do veículo;
- A demanda de todos os clientes de uma rota não pode exceder a capacidade do veículo;
- O tempo total de um roteiro não pode exceder a duração máxima da jornada de trabalho do motorista.

O algoritmo de Clarke e Wright constitui um modelo heurístico baseado na abordagem das economias “*saving*”. O método de Clarke e Wright inicia com a pior situação, ou seja, aquela em que o veículo sai e retorna ao depósito para atender um único cliente. Suponha que dois clientes y e z sejam atendidos, cada um por um único veículo e considere que as distâncias entre o depósito (0) e os clientes y e z seja representada por $d_{0,y}$ e $d_{0,z}$. Assim, a distância total percorrida pode ser definida como: $D = d_{0,y} + d_{y,0} + d_{0,z} + d_{z,0}$.

Uma forma de minimizar a distância total D seria juntar os dois clientes y e z em um único roteiro. A distância total percorrida passaria a ser: $D' = d_{0,y} + d_{y,z} + d_{0,z}$. Logo, a economia gerada pela junção dos clientes em um único roteiro seria: $s_{y,z} = D - D' = d_{0,y} + d_{0,z} - d_{y,z}$. Esse cálculo é feito para todas as combinações de paradas.

Existem duas versões da heurística de Clarke & Wright, uma paralela e outra sequencial. A seguir é descrito o algoritmo completo de Clarke e Wright:

- Passo 1: Combinar todos os clientes dois a dois e utilizando a fórmula $s_{y,z} = d_{0,y} + d_{0,z} - d_{y,z}$, calcular a economia para cada combinação;
- Passo 2: Listar as economias em ordem decrescente;
- Passo 3: Começar do topo da lista, com a combinação que gerou maior ganho;

Os três primeiros passos são comuns para as duas versões, mas a partir deste momento, o modelo de Clarke e Wright pode seguir dois caminhos distintos: versão paralela ou versão sequencial.

a) Versão Paralela:

- Passo 4: Se, ao ligar os pares de nós y e z , o resultado for uma rota factível que atenda as restrições do problema, fazer a união; caso contrário, eliminá-la;
- Passo 5: Se ainda houver economia, tentar a união com o próximo par de nós da lista e voltar ao passo anterior. Se não houver mais economias, o algoritmo termina.

b) Versão Sequencial:

- Passo 4: Se, ao ligar os pares de nós y e z , o resultado for uma rota factível que atenda as restrições do problema, fazer a união e ir para o passo 6. Senão vá para o passo 5;
- Passo 5: Se a rota não puder mais ser estendida, resultando em uma rota infactível, terminar a rota e iniciar uma nova rota com o par de nós do passo 4;
- Passo 6: Repetir os passos 4 e 5 enquanto houver alguma economia na lista.

2.2.6 Topologia das Rotas

Considerando que a distribuição espacial dos clientes representa uma rede euclidiana não simétrica, formam-se dois tipos básicos de rotas: rotas em pétalas e rotas em estrela (ROSA, 1996).

Rotas em Pétalas

As rotas em pétalas (Figura 6a) são aquelas que iniciam e terminam no depósito. Sua utilização em PRV é interessante na medida em que o veículo vai retornando para o depósito enquanto faz as entregas ou coletas, tornando-se mais econômica. Porém, no caso de transporte de passageiros, provocaria um baixo nível de serviço, sobretudo para aqueles que tivessem que dar volta para chegar a sua casa, causando insatisfação pelo maior tempo e distâncias percorridas.

Rotas em Estrela

As rotas em estrela (Figura 6b) são aquelas que iniciam no depósito, mas não terminam no depósito. É recomendada para o transporte de passageiros sob regime de fretamento em que o valor pago é sobre a quilometragem efetivamente percorrida e a guarda dos veículos é de responsabilidade da empresa contratada para os serviços. Neste tipo de rota o veículo segue do cliente mais próximo do depósito ao mais distante sem preocupar-se com a volta, melhorando assim o nível de serviço.

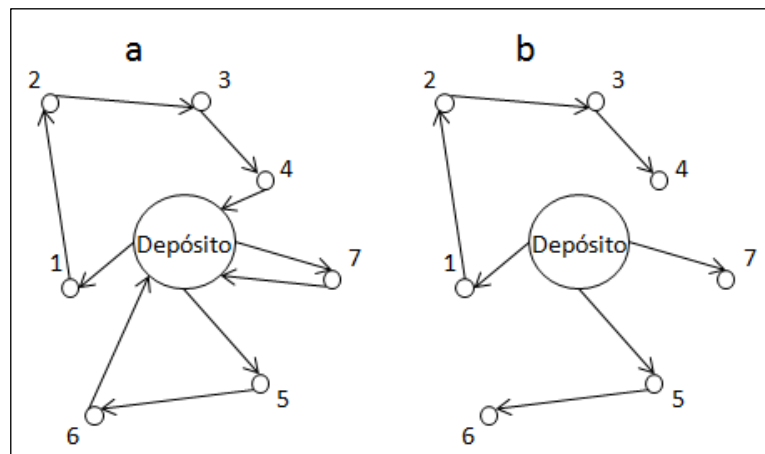


Figura 6: Rota: (a) em Pétalas (b) em Estrela
 Fonte: Rosa (1996).

Considerando que o objetivo deste estudo é roteirizar o transporte de empregados, parece mais adequada a adoção da topologia de rotas em estrela, garantindo assim que o nível de serviço para aqueles que moram mais distantes do depósito ou base dos veículos não seja muito diferente daqueles que moram mais perto.

2.2.7 Complexidade Computacional

O termo complexidade computacional está associado com o estudo dos problemas e dos algoritmos capazes de resolvê-los (GANHOTO, 2004). Um algoritmo pode ser definido como uma sequência de operações necessárias para obter a solução de um dado problema. Quando, para um problema, existe um algoritmo polinomial para sua solução, o problema é chamado tratável ou de classe P (polinomial). Por outro lado, muitos problemas só podem ser resolvidos em tempos exponenciais e são ditos como “intratáveis” ou NP-completos (BODIN et al. 1983).

Segundo Ganhoto (2004) e Loreto et al. (2006), grande parte dos problemas de decisão associados á problemas de interesse prático, pertence às seguintes classes:

- Classe P (*Polynomial time*): um problema pertence à classe P se ele pode ser resolvido por um algoritmo determinístico com complexidade de tempo polinomial;
- Classe NP: para um problema pertencer à classe NP significa que existe pelo menos um algoritmo não determinístico que o resolva com complexidade de tempo polinomial;
- Classe NP completo: um problema Y pertence à classe NP completo se ele for pertencente à classe NP e se para qualquer outro problema V também pertencente à classe NP, houver um algoritmo para resolver Y que pode ser adaptado em tempo polinomial para resolver V;
- Classe NP difícil (NP árduo ou NP *Hard*): um problema, não necessariamente da classe NP, pertence à classe NP difícil se qualquer outro problema pertencente à classe NP puder ser reduzido polinomialmente a este. Um problema NP difícil é pelo menos tão difícil quanto qualquer problema em NP.

De acordo com Ganhoto (2004), a classe P está contida em NP. Entretanto, existem muitos problemas em NP para os quais não são conhecidos algoritmos que os resolvam em tempo polinomial. Por isso não se tem certeza se $P = NP$; existe uma forte conjectura de que $P \neq NP$, embora isso não tenha ainda sido provado.

Segundo Goldberg e Luna (2005), os problemas de roteirização de veículos são problemas de características combinatórias e de grande dificuldade de solução, eles variam quanto a sua complexidade, dependendo do número de variáveis e restrições que os problemas consideram em sua formulação.

Mesmo com o avanço computacional dos últimos anos e com o aumento da capacidade das máquinas, os problemas de roteirização de veículos ainda são considerados problemas de difícil solução, pois a dificuldade reside na natureza combinatória desse tipo de problema que, até hoje, tem impedido a concepção de algoritmos eficientes de solução. Os principais casos dos problemas de roteirização de veículos são classificados quanto a sua dificuldade como sendo do tipo NP completo.

2.2.8 Softwares de Roteirização

Características e Requisitos

Existem diversos *softwares* disponíveis no mercado internacional e brasileiro para apoiar as empresas e profissionais do ramo na solução dos problemas de roteirização de veículos, como por exemplo: *Trucks*, *TruckStops*, *RoadShow*, *RouteSmart* e o *TransCad*, todos desenvolvidos por empresas estrangeiras, além do *RotaCerta*, este desenvolvido no Brasil.

Para se atingir os objetivos na solução de problemas de roteirização, Assad (1988), citado por Cunha (2000), propôs um conjunto de elementos para caracterizar os problemas de roteirização no intuito de apoiar a especificação dos atributos e requisitos de um *software* a ser adquirido ou de um modelo de roteirização a ser desenvolvido, são eles:

- Natureza e características dos atendimentos: somente coletas ou entregas; coletas de retorno - “backhauls”; um único produto ou múltiplos produtos; atendimento parcial ou total da demanda; conhecimento das demanda a priori; existência de incertezas na demanda; necessidade de programação de visitas periódicas com frequências definidas; prioridade de atendimentos;
- Frota de veículos: homogênea ou heterogênea; restrições de capacidade (peso ou volume); restrições de carregamento/equipamento; vínculo entre o tipo de veículo e o local da base; compatibilidade entre o tipo de veículo e o tipo de produto a ser transportado; frota fixa ou variável; frota localizada em uma única base ou em múltiplas bases;
- Requisitos de pessoal: duração da jornada normal de trabalho; opção e número de horas extras; número fixo ou variável de motoristas; horários e locais de início e término das jornadas de trabalho do pessoal; parada para almoço com hora marcada e outros tipos de parada (para descanso, por exemplo); possibilidade de viagens com duração superior a um dia;
- Requisitos de programação: atendimento de clientes em um determinado dia da semana; janelas de tempo para coleta e entrega (rígidas ou flexíveis); tempos de carga e descarga; horários de abertura/fechamento;
- Requisitos de informações: disponibilidade de dados geográficos e redes viárias; recursos de localização de endereços dos clientes; tempos de viagem; localização dos veículos; informações sobre crédito dos clientes.

No Quadro 4 são relacionadas algumas características de PRV a qual devem ser levadas em consideração para especificar os atributos e requisitos de um *software* comercial genérico para roteirização de veículos, nas visões de Assad e Ronen (1988) e Bodin (1990).

Característica	Assad (1988)	Ronen (1988)	Bodin (1990)
Uma ou múltiplas bases	Sim	Sim	Sim
Diferentes tipos de veículos	Sim	-	Sim
Coletas e entregas – coletas de retorno (“backhauls”)	Sim	Sim	Sim
Janelas de tempo	Sim	Sim	Sim
Tempos de carga e descarga	Sim	-	-
Velocidades variáveis	Sim	-	-
Contratação de terceiros	Sim	Sim	-
Limite de peso e volume	Sim	Sim	-
Múltiplos compartimentos por veículo	-	Sim	-
Duração máxima do roteiro	Sim	Sim	Sim
Contabilização de horas extras	Sim	-	Sim
Horários de início e término de viagem	Sim	-	-
Roteiros com pernoite; troca de motoristas	Sim	Sim	-
Locais de parada fixos (almoço)	Sim	-	-
Restrições de tamanho de veículo e equipamentos para um cliente	Sim	-	Sim
Zonas de entregas e possibilidade de fracionamento de carga	Sim	-	-
Barreiras físicas e restrições de circulação de Veículos	Sim	Sim	-
Mais de um roteiro por veículo (quando veículo retorna cedo à base)	Sim	-	-

Quadro 4 – Requisitos de Sistemas de Roteirização de Veículos

Fonte: Adaptado de Bodin et al. (1983) apud Cunha (2000).

De acordo com Cunha (2000), as informações levantadas por Hall e Partyka (1997), em um trabalho de levantamento de *softwares* disponíveis para o mercado abrangeram uma série de informações, na qual se destacam algumas: plataformas de processamento (Windows, Mac, Unix, etc.) e os requisitos mínimos de *hardware*; número máximo de paradas, de veículos e de terminais que podem ser considerados; preços; possíveis interfaces com Sistemas de Informações Geográficas (SIG); se permitem roteirização em nós e arcos; consideração de janelas de tempo rígidas (não podem ser violadas) ou flexíveis (penalidade pela violação); e implantações mais significativas.

Ressalta-se neste mesmo trabalho não ter sido realizada nenhuma avaliação do desempenho comparativo dos *softwares*, em termos de qualidade das soluções obtidas, de robustez e de desempenho computacional, além da importância de alteração dinâmica de roteiros para alguns tipos de problemas, a exemplo do tipo “*dial-a-ride*”.

Para Cunha (2000), se por um lado os pacotes de roteirização disponíveis no mercado brasileiro são sofisticados, poderosos, testados e validados em diversos problemas, por outro enfrentam dificuldades em sua implantação em função de custos significativos, consumo de tempo para preparação da base de dados e treinamento, estando assim preparados operacionalmente para uso no dia a dia.

Ainda segundo Cunha (2000), em muitos casos, as heurísticas clássicas em que se apoiam os *softwares* produzem soluções que correspondem a algum tipo de sub-otimização, priorizando minimizar a frota e a distância total percorrida. Como exemplo, o autor cita as heurísticas de economias (Clarke e Wright, 1964), de varredura (Wren e Holiday, 1972; Gillet e Miller, 1974) e outras do tipo agrupa primeiro e roteiriza depois (Fisher e Jaikumar, 1981), que se baseiam em medidas de distâncias ou tempos de viagem e não consideram outros custos.

Do ponto de vista do usuário, o interesse na aplicação de tecnologias que permitam otimizar as rotas está na melhoria do nível de serviço, caracterizado por menores tempos de viagem, por exemplo.

O esforço de pesquisa vem sendo direcionado ao desenvolvimento das chamadas meta-heurísticas, como forma de melhorar os algoritmos que suportam os *softwares* de roteirização. O crescente interesse por esta classe de algoritmos tem exemplos no trabalho de Souza (1993), que as relaciona, em Laporte et. al. (2000), que classifica a busca tabu como a meta-heurística com resultados mais promissores. Porém, apesar das melhores soluções da meta-heurísticas em relação as heurísticas convencionais, seu uso em *softwares* comerciais é dificultado pelo maior tempo computacional de processamento e necessidade de ajustes finos de parâmetros de acordo com o tipo de problema apresentado.

Atributos Espaciais

O conhecimento do grafo ou rede e a forma pela qual o mesmo foi obtido é um aspecto às vezes tão importante quanto os modelos matemáticos baseados em algoritmos para aplicação a problemas reais de roteirização de veículos, influenciando na qualidade dos resultados obtidos e na viabilidade de sua execução.

Para Cunha (2000), as formulações matemáticas de problemas de roteirização de veículos pressupõe-se ser conhecido um grafo ou rede $G=(N, A)$ composto de um conjunto de nós N , que representa um conjunto de pontos a serem atendidos e a base onde se localizam os veículos, e um conjunto de arcos A , representando as ligações entre todos os pares de nós em N , para os quais são conhecidas as distâncias e os tempos de viagem. Isto envolve a localização geográfica ou espacial dos pontos de atendimento e a determinação das distâncias e dos tempos de viagem entre os mesmos. Cada *software* adota um determinado modelo para representar um grafo (Quadro 5).

Categorias de Software	Características
Sistema de coordenadas cartesianas georreferenciadas (latitude e longitude)	<ul style="list-style-type: none"> - As distâncias nos arcos são calculadas com base nas coordenadas dos pontos, segundo alguma métrica (distância Euclideana ou retangular), podendo ser ajustadas por fatores de correção, de forma a considerar o percurso adicional decorrente do sistema viário⁹; - Os tempos de viagem são calculados com base nas distâncias e em velocidades médias, que podem variar segundo o tipo de veículo, ou ainda segundo as zonas onde se localizam os pontos de origem e de destino e segundo a distância a ser percorrida.
Recurso adicional de cadastramento de barreiras geográficas (linhas ou polígonos), de modo a representar obstáculos (naturais ou artificiais).	<ul style="list-style-type: none"> - No cálculo das distâncias (em linha reta) é considerado o percurso adicional para contornar o obstáculo ou para a sua transposição através de pontos específicos (tais como pontes sobre rios).
Interfaces com mapas digitais georreferenciados ou Sistemas de Informações Geográficas (SIG)	<ul style="list-style-type: none"> - Um SIG possibilita a localização automática de clientes e endereços. A distância e o tempo de viagem em cada um dos arcos A do grafo G são obtidos através do processamento prévio de algum algoritmo de caminhos mínimos, aplicado à malha viária da região de interesse. Assim, um <i>software</i> de roteirização não opera diretamente sobre o banco de dados da malha viária, a qual pode conter até centenas de milhares de trechos de vias cadastrados¹⁰.

Quadro 5 – Representação de Grafos em Software de Roteirização

Fonte: Cunha (2000).

⁹ Maiores detalhes consultar Novaes (1989).

¹⁰ Utilização do SIG em pesquisa operacional, incluindo aplicações em roteirização, são encontradas em Koch (1999).

Mais uma vez, faz-se necessária uma decisão em relação à escolha de um *software* de roteirização, neste caso, relacionada ao processo de obtenção do grafo ou rede. A decisão quanto à melhor forma de obtenção de um grafo, a partir de uma representação simplificada através de coordenadas ou de um banco de dados acoplado a um mapa digital depende de cada situação e também da natureza do ambiente de operação. Ele divide os problemas em duas categorias: a dos roteiros urbanos e a dos interurbanos ou regionais (CUNHA, 2000).

No contexto espacial urbano recomenda-se uma representação mais realista da malha viária, através de mapas digitais, em virtude de um sistema viário mais denso, maior número de alternativas de roteiros e maiores restrições de circulação, tais como mãos de direção, conversões, retornos, dentre outros. Porém, segundo Bodin (1990), existem algumas questões a serem consideradas na criação e manutenção de um SIG para suportar um sistema completo de roteirização e programação de veículos:

- Custo significativo;
- Manutenção e a atualização de uma base de dados de informações viárias é particularmente crítica, principalmente em cidades maiores, nas quais há mudanças frequentes de mão de direção e de restrições à circulação de veículos (conversões e outros movimentos proibidos);
- As bases geográficas armazenam um único valor de tempo ou velocidade em cada trecho da malha, que independe do horário do dia. Em regiões urbanas mais congestionadas, a consideração de velocidades médias ou de tempos de viagem que variam segundo o horário do dia, refletindo períodos de gargalo e congestionamento, são fundamentais para o sucesso da roteirização, principalmente quando restrições temporais, como janelas de tempo, estão envolvidas;
- Adicionalmente, no caso brasileiro, ainda não há mapas digitais da malha viária para a grande maioria dos municípios, com exceção de algumas capitais e cidades mais importantes. Mesmo onde disponíveis, tais bases nem sempre abrangem toda a malha viária, nem tampouco contêm informações de mãos de direção, de movimentos permitidos e proibidos, e de velocidades e tempos de viagem suficientemente acurados.

No contexto espacial regional, as distâncias entre pontos de atendimento são geralmente mais longas, a malha muito menor em termos de extensão e trechos, portanto menos densa. Além disso, são menores as incertezas associadas às restrições e condicionantes de tráfego. Assim, não é difícil montar um cadastro rodoviário que contenha a matriz de distâncias e tempos de viagem entre cidades de interesse, onde se localizam clientes e ou atendimentos, sem a necessidade de recorrer a coordenadas cartesianas ou à digitalização de mapas, possibilitando em geral a obtenção de uma roteirização razoavelmente acurada, em termos de distâncias e sequências de entregas.

Portanto, a escolha do *software* de acordo com o processo de obtenção dos grafos ou rede é uma questão que deve ser avaliada, caso a caso, entre a maior precisão e realismo da representação geográfica detalhada do grafo através de um SIG ou mapa digital, associado ao processamento prévio dos caminhos mínimos para a montagem do grafo e o impacto que acarretam no desempenho computacional do sistema, em comparação com o cálculo simplificado de distâncias euclidianas, que com recursos adicionais, podem considerar barreiras geográficas.

Outro aspecto importante que influencia nos resultados da roteirização é a falta de acurácia na localização dos pontos de atendimento, em especial em pontos que mudam diariamente, como por exemplo, nos serviços do tipo *courier*, serviços de entrega ou atendimento domiciliar, entre outros. Este problema é particularmente crítico no Brasil, onde as imprecisões de cadastro são recorrentes: falta de CEP, ruas sem nome e sem constar do cadastro oficial, entre outros. Portanto, o recurso de localização automática de endereços, conhecido como “*address matching*” apresenta dificuldades no caso brasileiro (CUNHA, 2000).

Em suma, na prática não existe um único produto ou solução que seja capaz de resolver todos os problemas, visto que a roteirização de veículos engloba um conjunto de problemas distintos que requerem, muitas vezes, estratégias de solução diferentes.

É importante salientar que existe necessidade de uma integração cada vez maior entre dos pacotes de roteirização com os diversos sistemas e banco de dados das

empresas, como por exemplo as ferramentas do tipo ERP – “*Enterprise Resource Planning*”, como por exemplo, SAP - *People-Soft*, dentre outros. Além disto, é necessário também uma integração com os sistemas de rastreamento de veículos via GPS, possibilitando a alteração dinâmica e em tempo real de roteiros, de forma a atender novas solicitações, além de proverem uma retroalimentação dos dados das viagens realizadas de forma a permitir o ajuste e o aprimoramento das bases de dados de tempos de viagem e distâncias. Desta forma, os pacotes de roteirização passam a ser ferramentas de otimização integradas.

Vantagens dos Procedimentos Informatizados

Para justificar a aquisição ou desenvolvimento de um procedimento informatizado para a solução de problemas de roteirização de veículos não basta o aumento de velocidade destas soluções, até porque estas soluções podem não ser as melhores, por características e restrições dos problemas incompletas, imprecisões de dados de entrada (atributos espaciais, posicionamento da demanda, e etc.), métodos heurísticos e *softwares* não adequados, dentre outros. Estas imprecisões podem até inviabilizar o cumprimento dos roteiros.

Segundo Sutcliffe e Board (1991), apud Brejon e Belfiore (2006), cujo trabalho foi correlacionar por meio de regressão os benefícios gerados pela utilização de procedimentos informatizados para roteirização de veículos com as características dos problemas resolvidos, quanto mais complexo o problema, por exemplo, maior número de clientes, veículos e rotas, e a presença de janelas de tempo, maior o benefício alcançado. Apenas observa-se que as análises foram feitas em trabalhos teóricos publicados, dos quais apenas alguns se referiam aos casos reais, com resultados efetivamente alcançados na prática.

Os benefícios no uso de procedimentos informatizados em roteirização de veículos apontados são:

- A obtenção de rotas mais curtas e mais rápidas;
- Menor número de veículos empregados;
- Menores custos;

- A empresa torna-se menos dependente da pessoa responsável pela roteirização (roteirista);
- Aumento da produtividade do roteirista em relação ao processo manual;
- Melhoria do processo de registro das operações efetuadas;
- Promoção de uma melhor compreensão do processo de roteirização;
- Melhor controle da função de transporte na empresa;
- Capacidade de se efetuar análises de sensibilidade;
- Capacidade de se testar hipóteses -“*what-if*”;
- Capacidade de decidir entre operar uma frota própria ou contratar frota de terceiros;
- Benefícios para os motoristas (programação de horários adequados);
- Benefícios para os clientes (melhor nível de serviço).

Segundo Brejon e Belfiore (2006), vários estudos realizados por Golden, Bodin e Goodwin (1986), Rosseau (1988) e Assad (1988) mostram que apesar dos benefícios da informatização do procedimento de roteirização, seja pelos pacotes comerciais de roteirização ou uso de algum algoritmo específico ao problema, existe um grande campo a ser pesquisado, visto que cada tipo de problema demanda soluções específicas.

2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA – SIG

Os Sistemas de Informação Geográfica vem se tornando ao longo dos anos uma importante ferramenta para apoio na análise e solução de problemas, nas mais diversas áreas do conhecimento. Destaca-se a área de transportes, foco deste estudo, onde se observa um crescente interesse por parte de pesquisadores e profissionais que atuam nesta área.

2.3.1 Conceitos e Definições

De acordo com Antenucci et al. (1991), SIG é um sistema computacional que armazena e une dados de atributos não gráficos ou geograficamente referenciados com feições de mapas para permitir uma grande gama de processamento e disposição de informações, tanto quanto produção de mapas, análises e modelagem.

Segundo Dantas et al. (1997), o SIG associa elementos de tecnologia (equipamentos e programas), banco de dados (imagens, mapas, dados estatísticos, etc.) e pessoal (usuários treinados, manutenção e suporte técnico), que se interagem para a manipulação de dados através de procedimentos computacionais, tendo como fator diferenciador de outros sistemas, a capacidade de processar análises espaciais.

De acordo com Nazário (1998), SIG é mais que uma ferramenta que associa banco de dados a mapas digitalizados, sendo necessário que exista pessoal qualificado, um objetivo no seu uso e integração com outras áreas dentro da organização. Resumindo, SIG é uma coleção organizada de *software*, *hardware*, dados geográficos e pessoal qualificado, para facilitar o processo de tomada de decisão que envolve o uso de informações georeferenciadas na organização.

Segundo Pina e Santos (2000), os SIG são sistemas que permitem a execução de análises espaciais complexas através da rápida formação, além de proporcionar subsídios para a tomada de decisões dos planejadores e administradores, através das mudanças de cenários.

Segundo Câmara (2000), apud Neto (2006), SIG é uma coleção organizada de *hardware*, *software*, dados geográficos e alfanuméricos, projetados para eficientemente, capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e apresentar informações referenciadas geograficamente. Constitui-se basicamente em um mapeador temático automatizado, onde as informações obtidas são organizadas em camadas (*layers*) e tais características se unem à potencialidade dos bancos de dados automatizados.

Resumindo, o SIG é uma ferramenta computacional de geoprocessamento – disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informação geográfica.

2.3.2 Componentes de um SIG

O SIG é capaz de gerar informações que permitem obter soluções rápidas e precisas para vários problemas, facilitando o processo de tomada de decisões em várias áreas, tais como: Geologia, Hidrografia, Agricultura, Engenharia Civil, de Transportes, Urbana, de Minas, dentre outras (SILVA, 1998).

Para Câmara et al. (1996), os componentes de um SIG numa visão geral são:

- Interface com o usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de processamento;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados.

De acordo com Raia Junior (2000), os componentes de um SIG (Figura 7), são:

- Usuários: para executar as análises e modelagens mais complexas;
- Hardware: composto pelos diversos componentes do computador, periféricos, dentre outros;
- Software: que são os programas especificamente construídos para atuarem nos SIG;
- Banco de Dados: cuja função é registrar e manter as informações que vão ser utilizadas, podendo ser integrado ou compartilhado,
- Mundo Real: que representa todos os objetos geográficos da superfície ou sub-superfície da terra ou meio, cuja representação pode ser numérica ou gráfica, além de armazenada em formatos analógico ou digital e de forma agregada, por exemplo, mapas.



Figura 7 - Componentes principais de um SIG
 Fonte: Raia Junior (2000).

Para Raia Junior (2000), os SIG são uma ferramenta de extrema importância na atividade de planejamento urbano e de transportes, proporcionando condições mais satisfatórias de visualização, entendimento, compreensão e tomada de decisões.

2.3.3 Aplicações de SIG

De acordo com Calijuri e Röhm (1993), o SIG pode ser utilizado numa série de análises: otimização do sistema de transporte coletivo; avaliação da tendência de crescimento dos bairros; definição da forma como se deve proceder ao avanço das redes de infraestrutura urbana (água, esgoto, pavimentação, iluminação, telefonia); definição de locais estratégicos para instalação de postos de saúde, hospitais, escolas, creches, áreas de lazer, áreas potenciais de ocupação residencial e industrial; avaliação da percentagem de cobertura natural e antropizadas; determinação da extensão de áreas industriais, residenciais, agrícolas e outras.

Para Ferrari (1997), o SIG pode ser usado nas atividades em três níveis de uma organização: operacional, gerencial e estratégico (Quadro 6).

Nível da Organização	Ganhos
Estratégico	<ul style="list-style-type: none"> – Melhor imagem (clientes e parceiros); – Aumento de receitas; – Novas fontes de receitas.
Gerencial	<ul style="list-style-type: none"> – Eficácia administrativa com melhores informações e melhores decisões de caráter tático: planejamento, gerenciamento e alocação de recursos.
Operacional	<ul style="list-style-type: none"> – Ganhos de produtividade; – Redução ou eliminação de custos ou riscos; – Qualidade na execução das tarefas.

Quadro 6 - Uso do SIG nas Organizações

Fonte: Ferrari (1997).

O SIG pode ser empregado para facilitar o desenvolvimento de processos com modelos espaciais. Um exemplo de problema de decisão espacial é o caso do lixo nuclear. Devido a problemas de saúde, ninguém quer viver exposto a um depósito de lixo nuclear; assim, o SIG pode ser utilizado para identificar possíveis localidades para a base geográfica (HEYWOOD; CORNELIUS; CARVER, 2002).

O Sistema de Informações Geográficas vem sendo amplamente utilizado para operações que envolvam recursos tecnológicos associados a fenômenos espaciais, sendo indicado para o emprego de atividades que envolvam identificação, rastreamento, análises espaciais, levantamento e tratamento de informações e dados de maneira organizada (SANTOS e RAIA JUNIOR, 2006).

Para Câmara et al. (1996), as aplicações de Sistemas de Informações Geográficas classificam-se da seguinte forma (Quadro 7):

Classificação	Descrição	Aplicação
Sócio-econômicas	São aquelas que envolvem o uso da terra, os seres humanos e a infraestrutura existente. Podem ser realizadas com o objetivo de planejamento ou avaliação de mudanças em uma região em resposta a uma determinada política.	<ul style="list-style-type: none"> - Uso da terra, que incluem cadastros rurais, agroindústria e irrigação; - Ocupação humana, composta por cadastros urbanos e regionais, sistemas de serviço de utilidade pública; - Atividades econômicas que envolvem <i>marketing</i> e indústrias.
Ambientais	São aquelas que visam o meio ambiente e o uso de recursos naturais.	<ul style="list-style-type: none"> - Meio ambiente, que trata da ecologia, clima, gerenciamento florestal e poluição; - Uso dos recursos naturais, que trata do extrativismo vegetal e mineral, energia, recursos hídricos e oceânicos.
Gerenciais	São as que envolvem a realização de estudos e projeções que determinam onde e como alocar recursos para remediar problemas ou garantir a preservação de determinadas características.	<ul style="list-style-type: none"> - Planejamento de tráfego urbano, incluindo roteamento de transporte coletivo, roteamento de coletas de lixo e outros; - Planejamento e controle de obras públicas e planejamento de defesa civil.

Quadro 7- Classificação das Aplicações do SIG

Fonte: Câmara et al. (1996).

É importante entender que o SIG não é um “fim” e sim um “meio”. É comum encontrar quem pense que o SIG resolve tudo por si só, o que não é correto. O SIG é apenas uma ferramenta de análise e otimização de processos, portanto a potencialidade do sistema depende dos desenhos dos processos ou dos algoritmos que devem solucionar os problemas. E é aí que se concentram os pontos fortes de um SIG: por um lado nas suas características e potencialidades, e por outro e principalmente, na capacidade dos operadores ou especialistas que o utilizam (BRAVO e CERDA, 1995).

Segundo Castro (2006), no ano de 1990 a tecnologia dos Sistemas de Informações Geográficas começou a ser aplicada também na área de transporte, com a resolução de problemas de logística, como por exemplo, roteirização de veículos.

2.3.4 Sistemas de Informação Geográfica para Transporte (SIG-T)

O SIG vem sendo largamente utilizado na Engenharia de Transportes, obtendo então a denominação de SIG-T. O campo de atuação do SIG-T é amplo, tanto na área de planejamento como na operação de transportes. Dentre as diversas aplicações do SIG em transportes podem ser citadas: projeto geométrico de vias, monitoramento e controle de tráfego, oferta e demanda de transportes, prevenção de acidentes, otimização de rotas, monitoramento e controle de operações rodoviárias, dentre outras (VIVIANE; SÓRIA; SILVA, 1994).

Um SIG-T pode ser considerado como um SIG melhorado, pois permite a utilização conjugada de ferramentas computacionais com informações geográficas que executam análise de sistemas automáticos de localização de veículos e sistemas inteligentes de serviços de transportes. A melhoria necessária ao SIG consiste na estruturação dos Bancos de Dados de atributos, de forma a fornecer dados de localização e referência consistentes e compatíveis (BRITO, 2006; MILLER e SHAW, 2001).

De acordo com Brito (2006), um SIG-T pode proporcionar: um núcleo de SIG potente dispendo de extensões especiais para transportes (AutoCAD, MapInfo, ESRI, BTS NTAD, *Tiger-line*, etc.), recursos de mapeamento e visualização criados para aplicações de transportes e módulos de aplicativos de roteirização, previsão de demanda de viagens e modelo de localização.

Para Kagan et al. (1992), as principais vantagens do uso de SIG em conjunto com modelos de transporte são:

- Integridade dos dados propiciada pelo SIG que, se também integrado aos modelos, permite a maior transparência dos aspectos físicos dos dados para o usuário;
- Operações pré-incorporadas ao SIG eliminam ou simplificam tarefas realizadas normalmente por processos manuais ou em módulos computacionais isolados e não muito bem integrados;

- Facilidade de edição e representação gráfica;
- Tratamento topológico que facilita as operações de edição da base geográfica;
- Armazenamento e edição a um menor custo;
- Realizações de certos tipos de análises antes praticamente inviáveis nos processos tradicionais, como por exemplo, a identificação de caminhos mínimos entre cada par de zonas origem e destino, entre outros.

Segundo Dantas et al. (1996), diversos trabalhos foram feitos com o uso de SIG-T, nas áreas de gestão, planejamento e operação de transportes. Na área de gestão, observou-se uma preocupação com a criação de uma base de dados. Na área de planejamento, focaram-se nos temas relacionados a definição de zonas de análise de tráfego, transporte de carga e transporte regional. Finalmente, na operação, trataram de questões relacionadas a transporte de carga, transporte rodoviário, engenharia de tráfego e transporte coletivo urbano.

O interesse de pesquisadores brasileiros pelos Sistemas de Informação Geográfica aplicados a transporte, denominado SIG-T, pode ser constatado pelas diversas publicações citadas por Silva (1998) em dois momentos distintos:

- Até 1995: marcado por uma série de intenções dos pesquisadores brasileiros na utilização da ferramenta SIG-T, com destaque para três grupos: empresa de consultoria em transportes LOGIT, COPPE (UFRJ) e a Escola de Engenharia de São Carlos da USP. Esta fase foi marcada pela preocupação na criação de uma base de dados. Foi também em 1995 que se concluíram algumas das primeiras dissertações de mestrado no país, como por exemplo, Raia Júnior (1995) da Escola de Engenharia de São Carlos (USP) e Januário (1995) do Instituto Militar de Engenharia (IME);
- Após 1995: observou-se uma mudança de status das aplicações de SIG em transportes do GIS BRASIL 96 em relação ao GIS BRASIL 94, com o primeiro tendo um módulo próprio denominado: Roteamento, Distribuição e *Marketing*, enquanto que o segundo denomina-se usos não convencionais de SIG.

Esta mudança demonstrou um maior interesse por parte dos pesquisadores em aplicar a ferramenta SIG-T.

Alguns trabalhos citados por Silva (1998) de acordo com sua distribuição nos dois períodos citados acima, foram:

- Até 1995: Potencialidade do uso de um SIG no planejamento de transportes (KAGAN et al. , 1992); Associação de imagens de satélites a modelos matemáticos para o planejamento de transportes (FERREIRA et al., 1994); Geração de imagens (ruas, avenidas, rotas, itinerários) para cadastro que auxiliassem no planejamento de transporte público urbano no município do Rio de Janeiro (NASSI et al., 1994); Possibilidades de uso dos SIG-T para o planejamento e reestruturação de sistemas de transporte público em cidades de pequeno e médio porte (SILVA et al., 1994); Roteirização de veículos (ROSSETO e CUNHA, 1994); Planejamento de rotas de transporte público urbano (ALENCAR e AQUINO, 1994); Sistema informatizado para o Planejamento de Transportes no Estado de Minas Gerais (ANDRADE e MENDES, 1995); Reestruturação de um sistema de transporte público urbano (SILVA e KAWAMOTO, 1995); Redes logísticas para garantir uma melhor performance dos SIG na busca de rotas ótimas (NOVAES, 1995);
- Após 1995: Avaliação de acessibilidade locacional de paradas de ônibus com a combinação de recursos de um SIG-T e dados de sensoriamento remoto (BARTOLI et al., 1996); Análise de redes de transportes tendo como plataforma um SIG (LOUREIRO e RALSTON, 1996); Uso de SIG para roteirização de distribuição de jornais (SILVA e GRUBMAN, 1996; ROCHA, 1996); O uso do SIG como auxiliar na obtenção de alguns dados fundamentais para o planejamento de transportes (SILVA et al., 1996); Localização de pontos de paradas de ônibus com o auxílio de um SIG (TESIMA e LAPOLLI, 1996) Análise do problema de roteirização de veículos para o processo de coleta e descarga de resíduos sólidos de serviços de saúde (GRACIOLLI et al.,1997); Elaboração de cadastros de linhas de ônibus, combinando SIG e GPS (PINTO e LINDAU, 1997); Avaliação da acessibilidade aos transportes (SALLES FILHO, 1997; RAIA JUNIOR, 1997); Introdução de SIG no ensino da engenharia de transporte (SILVA et al.,1997);

Desenvolvimento de uma metodologia para otimização de redução de custos operacionais para serviços de ônibus fretados para transporte de funcionários (MARTINS et al., 1997); Apresentações das aplicações de SIG destinadas aos sistemas de transporte coletivo e trânsito já utilizadas ou em desenvolvimento na cidade de Belo Horizonte (MEIRELLES, 1997); Determinação de itinerários para ônibus escolares (PAIVA, 1997).

Silva (1998), conclui que a retrospectiva apresentada de publicações e trabalhos com o uso de tecnologia SIG-T demonstram que esta é uma área emergente no Brasil, despertando o interesse dos profissionais de transportes, sejam eles do meio acadêmico ou técnico que vivenciam diariamente os problemas das cidades.

Apesar da extensa citação de trabalhos até o ano de 1998 que utilizaram a tecnologia SIG-T, são relativamente poucos os trabalhos publicados com roteirização de veículos no Brasil com o uso de Sistemas de Informação Geográfica, principalmente aplicados a transporte de passageiros no modo ônibus, e tão pouco se tratando de transporte fretado de empregados.

Atualmente, o mercado dispõe de um número razoável de *softwares* com aplicações em transportes, os chamados SIG-T.

2.3.5 O *Software* TransCAD

O *software* TransCAD é um Sistema de Informações Geográficas, desenvolvido especificamente para uso por profissionais de transporte para armazenar, exibir, gerenciar e analisar dados de transporte (Caliper, 2011).

Segundo Rose (2001), o TransCAD possui procedimentos e ferramentas para solucionar problemas de roteirização e programação, entre eles: definição de rotas de entrega, zoneamento, redistritamento, locação de instalações, rotas de transporte público urbano, coleta de lixo, roteamento, transporte fretado e possibilidade de uso de diferentes medidas, inclusive o sistema métrico. As rotinas de caminhos mínimos,

fornechas pelo *software*, permitem minimizar distâncias, tempo, custo ou quaisquer outras variáveis. O TransCAD possui uma série de aplicações, conforme Figura 8.



Figura 8 - Aplicações do TransCAD
Fonte: Caliper Corporation apud Rose (2001).

A arquitetura modular acessível do TransCAD pode ser customizada e ampliada com procedimentos escritos pelos desenvolvedores em qualquer tipo de programação. O TransCAD possui uma linguagem própria de programação, que pode ser consultada por meio de dois manuais: *GISDK (Geographic Information*

System Development Kit), que lista os vários comandos e o *Caliper Script*, que versa sobre detalhes de sua linguagem de programação.

De acordo com a Caliper Corporation (2011), o *software* TransCAD versão 4.8, utilizado neste trabalho, pode ser utilizado nas plataformas *Windows* 7, XP Professional, Vista, Server 2003 e Server 2008 em 32 ou 64 Bits. As configurações de *hardware* seguem as exigências feitas pelas plataformas *Windows*, apresentando apenas a necessidade de no mínimo 14 MB de espaço disponível em disco rígido.

O TransCAD foi um dos primeiros pacotes de SIG-T desenvolvidos especialmente para serem utilizados como uma ferramenta de planejamento, gerência, operação, e análise de sistemas de transporte, incorporando, além de funções básicas de um SIG, rotinas específicas para solução de problemas de logística, pesquisa operacional e de transportes em geral. Estas rotinas permitem aos usuários aplicar não só funções básicas de análises de redes, tais como: determinar a rota de menor impedância entre nós e distribuir viagens entre zonas, como também resolver problemas convencionais de roteamento e escalonamento de veículos, localização de instalações, alocação de recursos em redes, alocação de tráfego, dentre outros (LOUREIRO e RALSTON, 1996).

Silva et al. (1994), utilizaram o TransCAD como ferramenta para desenvolver um estudo de planejamento e reestruturação de sistemas de transporte público urbano, concluindo que esta ferramenta pode ser extremamente valiosa na reestruturação de sistemas existentes, bem como no planejamento de novos sistemas.

3 PROCEDIMENTO PROPOSTO

Inicialmente será feita uma caracterização e delimitação do problema. Em seguida serão apresentados os critérios de otimização de rotas. Por fim, será apresentado o procedimento para utilização do TransCAD na solução do problema de coleta e entrega aplicada ao transporte de empregados em suas viagens de ida e volta do trabalho.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O problema a ser solucionado por este procedimento de roteirização se refere à logística de coleta e distribuição física de empregados por uma frota de ônibus fretada no percurso residência-trabalho-residência.

Este tipo de problema é caracterizado como aquele que “[...] atende a usuários que tenham origem e destino comuns, como por exemplo: empregados de uma mesma indústria, estudantes, excursionista e turistas” (LIMA, 2003).

De acordo com as classificações e tipos de problemas de roteirização de veículos apresentadas no capítulo anterior, o problema abordado neste trabalho é um clássico PRV de cobertura em nós, de base única ou múltipla, múltiplas rotas, múltiplos veículos com restrição de capacidade e demandas determinísticas, acrescentando-se as restrições de tempo inerentes ao problemas em questão.

O problema a ser modelado tem as seguintes características:

- Cobertura em nós: Os clientes que representam a demanda de transporte, neste caso, os empregados de uma determinada empresa, estão localizados em nós da rede de transporte a qual se deseja roteirizar;
- Base única ou múltipla: A base ou bases representam os locais de onde partem os veículos para coleta e entrega dos empregados. Nas viagens no percurso residência-trabalho, a coleta dos empregados pode ser feita a partir

de uma única base ou de múltiplas bases. Nas viagens no percurso trabalho-residência, a entrega dos empregados parte de uma base única, a mesma de destino das viagens de ida ao trabalho. Em ambas as operações não existe necessidade de retorno dos veículos a base ou bases, pois, a garagem dos veículos não é o ponto de partida para nenhuma das duas operações;

- Múltiplas rotas: As rotas podem ser as mais diversas possíveis visando atender a demanda específica dos empregados, desde que ofereça condições técnicas e de segurança de trafegabilidade para os ônibus, como por exemplo, dimensões e pavimentação das vias adequadas ao tipo de veículo empregado;
- Múltiplos veículos com restrição de capacidade: Podem ser utilizados vários tipos e modelos de veículos para atender a demanda de transporte dos empregados, respeitando o limite de capacidade de passageiros sentados;
- Restrição de tempo: Esta característica representa o tempo médio de viagem entre origem e destino, ou seja, o tempo de viagem dos empregados no percurso residência-trabalho-residência;
- Demandas determinísticas: A demanda de transporte é determinada pela quantidade de empregados que residem na área de atendimento das linhas de ônibus disponibilizadas pela empresa para o transporte de seus empregados. Ressalta-se que esta demanda varia em determinados períodos do ano por motivo de faltas, férias, viagens a trabalho, afastamentos médicos, escolha de outro modal de transporte, dentre outros.

3.2 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

A delimitação do problema considera aspectos geográficos, de perfil das empresas, de perfil dos trabalhadores, assim como o eixo e a forma de locomoção destes trabalhadores em seus movimentos pendulares, ou seja, nos deslocamentos do percurso residência-trabalho-residência.

Um estudo realizado pela FINDES em 2009 identificou os locais de origem e destino dos trabalhadores das indústrias, prioritariamente do setor de produção, situadas nos principais municípios da RMGV e os meios de transporte utilizados em seus

movimentos pendulares. É com base nos principais aspectos deste estudo, a qual apresentamos a seguir, que se delimita o problema a ser modelado.

3.2.1 Aspectos Geográficos e de Mobilidade Urbana

A Região Metropolitana da Grande Vitória – RMGV (Figura 9) é formada por sete municípios: Vitória, Vila Velha, Cariacica, Serra, Viana, Guarapari e Fundão. Esses sete municípios abrigam 46% da população total do Espírito Santo e 57% de sua população urbana, além de concentrar 65% do Produto Interno Bruto. A RMGV tem uma área de aproximadamente 144 mil hectares, correspondente a 3,2% da área total do Estado, mas tem densidade populacional mais de nove vezes superior à média do Estado. A capital, Vitória, é o menor município da RMGV e possui o maior índice de concentração populacional: 3.065 habitantes por quilômetro quadrado.



Figura 9 – Região Metropolitana da Grande Vitória
Fonte: CETURB-GV (2011).

A mobilidade urbana na RMGV vem sendo deteriorada ao longo de décadas. Esta deterioração é atribuída, principalmente, ao aumento da frota de veículos, facilitada pela relativa estabilidade econômica do país com o sucesso do Plano Real, associado à falta de políticas públicas e investimentos que venham a tornar o transporte público mais eficiente. O efeito mais visível da associação destes fatores são os congestionamentos nas principais vias das cidades, principalmente na capital do estado - Vitória.

A RMGV apresenta um cenário propício ao desenvolvimento de um procedimento de roteirização de uma frota de ônibus fretada para transporte de empregados de empresas localizadas nesta região. “[...] os deslocamentos na RMGV são um grande gargalo, principalmente para aqueles trabalhadores que dependem do transporte coletivo para deslocarem-se até suas respectivas empresas. As consequências de um sistema de transporte coletivo a beira do caos são atrasos ao trabalho, estresse e perda de produtividade do trabalhador, afetando com isto, os resultados das empresas (LUZ, 2010).

3.2.2 Perfil das Empresas

Um levantamento feito com quatro grandes empresas da RMGV revelou que elas oferecem transporte próprio a 10.880 empregados – cerca de 12% do total de trabalhadores da indústria na região. Todas as quatro empresas utilizam contratos com empresas de fretamento de ônibus para transporte de seus empregados.

A disposição geográfica das grandes empresas na RMGV (Tabela 4) é a seguinte: 18,27% localizadas no município da Serra, seguida por Vitória com 5,89% e Vila Velha 4,66%, ambas contendo apenas uma empresa de grande porte cada. Neste quesito, Cariacica e Viana não apresentam empresas classificadas como grande porte, ficando sem participação no *ranking*.

Tabela 4 – Empresas por Porte e Município de Funcionamento

Porte da Empresa		Município de Funcionamento (%)				Total
Número de Funcionários	Classificação da Empresa	Vitória	Vila Velha	Serra	Cariacica	
De 1 a 19	Micro	2,72	2,11	2,02	2,37	9,93
De 20 a 100	Pequena	8,88	9,84	11,51	3,78	35,59
De 101 a 500	Média	5,27	2,46	13,97	2,72	25,57
Acima de 500	Grande	5,89	4,66	18,37	0,00	28,91
Total		22,76	19,07	45,87	8,88	100

Fonte: FINDES (2009).

Este mesmo estudo ressalta a concentração industrial no município da Serra, representado 45,87% da região metropolitana, seguida por Vitória (22,76%) e Vila Velha (19,07%), tendo ainda Cariacica com baixo grau de industrialização comparativamente à Região Metropolitana da Grande Vitória.

O município da Serra se apresenta com grande potencial para desenvolvimento de estudos de roteirização, já que concentra grande parte das empresas do setor industrial na RMGV.

3.2.3 Perfil dos Trabalhadores

O estudo da FINDES revelou que dos trabalhadores pesquisados, apenas 10,28% trabalham em regime de escala, sendo que 18,19% desenvolvem suas ações em regime de turno e a grande maioria, 71,53% trabalham em horário comercial. Essa informação corrobora que a mobilidade do trabalhador da indústria se desloca no território metropolitano nos chamados horários de pico.

A concentração nos horários de pico e aumento da frota de veículos (coletivos e individuais), sobrecarrega o sistema viário e provoca grandes engarrafamentos, aumentando também o tempo nos deslocamentos pendulares.

Em Vitória, dos 11,07% de trabalhadores pesquisados, 5,45% trabalham na própria capital e 4,66% trabalha no município da Serra. O município da Serra ocupa o primeiro lugar tanto no local de residência dos trabalhadores (43,67%), quanto no

município onde trabalha, pois 35,15% dos residentes trabalham no próprio município.

Tabela 5 – Relação entre Município de Trabalho e Residência

Município Onde Residem	Município onde Trabalham (%)					Total
	Vitória	Vila Velha	Serra	Cariacica	Viana	
Vitória	5,45	0,79	4,66	0,18	0,00	11,07
Vila Velha	2,46	12,92	2,37	0,62	0,09	18,45
Serra	7,73	0,53	35,15	0,26	0,00	43,67
Cariacica	6,59	4,39	3,43	7,29	2,02	23,73
Viana	0,53	0,35	0,26	0,53	1,32	2,99
Guarapari	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,09
Total	22,76	19,07	45,87	8,88	3,43	100

Fonte: FINDES (2009).

A Tabela 5 revela que o deslocamento de ida e volta ao trabalho pelos trabalhadores da indústria se dá principalmente dentro do município da Serra (35,15%).

O Perfil do trabalhador a ser considerado pelo procedimento é aquele do setor industrial, por ser o de maior concentração na RMGV.

3.2.4 Eixo e Forma de Locomoção

Em 2009 aconteceram diariamente nas cidades brasileiras cerca de 200 milhões de deslocamentos motorizados, mostrando um expressivo crescimento em relação aos 78 milhões de viagens diárias relatadas por Padilha (1998), das quais 70% eram por meios dos transportes coletivos. Segundo Padilha (1998), aproximadamente 62% das pessoas que utilizam os coletivos tem por motivo o trabalho. Isto comprova sua importância social e seu papel como instrumento de produção.

Para Lerner (2009), apesar da significativa modificação do perfil dos deslocamentos nos últimos anos, passando de concentração dos locais de trabalho e estudo de zonas centrais a disperso, *“mesmo assim, o ônibus é, e continuará sendo por muito*

tempo ainda, o principal – se não o único viável – meio de transporte público para a maioria da população das cidades”.

Esta afirmação é corroborada pelo estudo da FINDES que revelou a forma de locomoção mais utilizada pelo trabalhador da indústria na RMGV em seus movimentos pendulares. Em primeiro lugar aparece o ônibus (58,96%), seguido dos deslocamentos a pé e de bicicletas que representam 22,67% do total. Somando-se a esse contingente (22,67%) aos demais meios de deslocamento (carro, moto e outros – 18,20%) têm-se uma razoável parcela de trabalhadores que não usam o sistema de transporte coletivo público (40,87%) e que poderia, em tese, representar uma insatisfação com o nível de serviço nesse modal (Tabela 6).

Tabela 6 – Modos de Transporte entre Residência e Trabalho

Ônibus (%)	Bicicleta (%)	A Pé (%)	Carro (%)	Moto (%)	Outros (%)	Ônibus da Empresa (%)
58,96	12,65	10,02	8,44	4,75	5,01	0,18

Fonte: FINDES (2009).

Entre os trabalhadores pesquisados apenas 0,18% do total informou utilizar o ônibus da própria empresa sob regime fretado.

A intensidade do fluxo diário nas principais vias da região metropolitana, com base no trajeto dos ônibus podem ser observadas na Figura 10. Pode-se perceber que o eixo de locomoção do fluxo de trabalhadores da indústria se concentra nas vias arteriais correspondendo às linhas troncais do sistema Transcol (Sistema de Transporte Coletivo da Grande Vitória).

Esse deslocamento mostra uma grande mobilidade da mão de obra industrial pelos municípios da RMGV, mesmo com a tendência do trabalhador preferir morar no município, ou de a empresa preferir contratar pessoas que morem mais perto do local de trabalho. Fica claro assim, que a principal característica da região metropolitana é seu alto grau de disponibilidade de mão de obra especializada concentrada. A função metropolitana é, portanto, condição de grande valor locacional e logístico para instalação das indústrias.

Os principais eixos de deslocamento do trabalhador da indústria na RMGV são formados, principalmente pelas seguintes vias:

- Município da Serra: Rodovia BR-101 Norte e Norte-Sul;
- Município de Cariacica: BR-262, BR-101 (Rodovia do Contorno de Vitória);
- Município de Vila Velha: Rodovia Carlos Lindenberg;
- Município de Vitória: Avenida Fernando Ferrari, Avenida Nossa Senhora da Penha, Rodovia Serafin Derenze, Avenida Adalberto Simão Nader, Avenida Dante Michelini, Avenida Saturnino de Brito, Avenida Desembargador Santos Neves, Avenida Vitória, Avenida Jerônimo Monteiro, Avenida César Hilal, Avenida Marechal Mascarenhas de Moraes, Avenida Princesa Isabel, Avenida Beira Mar, Avenida Presidente Getúlio Vargas, Avenida Alexandre Buaiz, Ponte Florentino Avidos, Avenida Nair Azevedo Silva, Segunda Ponte, Terceira Ponte.



Figura 10 - Intensidade de fluxo diário dos trabalhadores da indústria na RMGV
Fonte: FINDES (2009).

Pode ser observado na Figura 10 que o município de Vitória apresenta o maior número de vias utilizadas para o deslocamento de trabalhadores da indústria. A grande maioria da frota de 600 mil veículos circula pelas principais vias da capital do estado – Vitória, as quais já estão sobrecarregadas, reduzindo a velocidade média dos veículos, que chega até a 20km/h, sobretudo em horários de pico. Um exemplo desta situação é a Avenida Nossa Senhora da Penha, que apresenta sobrecarga em alguns trechos de até 66% de sua capacidade (LUZ, 2010).

Os diversos aspectos apresentados relativos aos movimentos pendulares dos trabalhadores da indústria demonstra a importância e complexidade dos problemas de roteirização de veículos para as empresas que adotam o transporte próprio para seus empregados.

3.3 CRITÉRIOS DE OTIMIZAÇÃO DE ROTAS

O procedimento de roteirização proposto tem como foco principal os aspectos quantitativos de uma potencial otimização de rotas. Diante disto, dois aspectos serão abordados: aspecto econômico e de nível de serviço. Portanto, visa atender tanto aos interesses da empresa contratante dos serviços de fretamento, quanto aos empregados usuários do sistema de transporte.

No aspecto econômico o foco está na potencial redução do custo operacional do sistema de transporte por meio da otimização da frota de ônibus e ou redução de quilometragens percorridas pelos mesmos.

No aspecto de nível de serviço, o foco principal está na potencial redução dos tempos de viagem dos trabalhadores usuários do transporte oferecido por suas empresas. Neste aspecto, reside não só o interesse dos empregados, já que proporciona maior conforto nas viagens, mas também da empresa, que terá seu empregado com menor desgaste e maior produtividade no trabalho.

A seguir será descrito o conceito de cada critério, bem como o ambiente em que cada um se dará.

3.3.1 Redução de Custo Operacional

O custo operacional foco, deste trabalho, é aquele necessário para a operação e manutenção da frota de ônibus para o transporte de empregados em seus deslocamentos no percurso residência-trabalho-residência.

De acordo com Valente, Passaglia e Novaes (2003, p.86), os custos são classificados em diretos – correspondente aos custos fixos mais os custos variáveis e os indiretos ou administrativos. Para Dutra (2004), os custos ou despesas podem ser classificados em fixos e variáveis.

Os custos fixos são aqueles que não variam em função do nível de atividade da empresa ou grau de utilização do equipamento. Já os custos variáveis, são proporcionais ao nível de atividade ou grau de utilização. Os custos indiretos ou administrativos são aqueles necessários para manter o sistema de transporte da empresa.

Os principais componentes dos custos de transporte pesquisados na literatura, são os seguintes:

- Custos Fixos: depreciação, remuneração do capital, salário da tripulação, licenciamento e seguros;
- Custos Variáveis: combustível, óleo lubrificante (motor e transmissão), lavagem, lubrificação, material rodante (pneus, câmaras, recapagem, protetores), peças e acessórios (material de oficina) e mão de obra para manutenção dos veículos;
- Custos Indiretos ou Administrativos: Pessoal de armazéns e escritórios, encargos, impressos, publicidade, aluguéis, impostos e taxas, conservação e limpeza, despesas financeiras, despesas diversas, entre outras.

A formulação matemática para representar o custo operacional pode ser representada da seguinte forma:

$$co = cf + cv + ci \quad (10)$$

Onde:

CO - Custo Operacional

cf - Custo Fixo

CV - Custo Variável

ci - Custo Indireto

Segundo Valente, Passaglia e Novaes (2003), os gestores e operadores de transporte devem estar atentos aos fatores que influenciam na variação dos custos. Somente para citar alguns deles:

- Quilometragem: Quanto mais o veículo rodar, menor será o custo fixo por quilômetro, pois o custo fixo é dividido pela quilometragem. Porém, esta vantagem pode ser eliminada no caso de velocidades de operação do veículo não econômicas – aumento de velocidades, que podem influenciar no consumo de combustível, de pneus e de manutenção;
- Tipo de tráfego: É de conhecimento geral que em áreas urbanas existe um maior consumo de combustíveis e desgaste do veículo comparativamente a áreas não urbanas. Para entender este fator, basta comparar um deslocamento de mesma distância entre uma área urbana de uma cidade e uma não urbana entre duas cidades por exemplo;
- Tipo de Via: De acordo com as condições das vias por onde os veículos trafegam (superfície de rolamento, topografia, sinuosidade), variam os custos. Por exemplo, em vias com maiores aclives existe um maior consumo de combustíveis;
- Região de Atuação: Conforme o lugar onde a empresa de transporte atua, os componentes de custo: salários, impostos e combustíveis, por exemplo, podem variar. Um empresa de transporte que atua na RMGV, provavelmente tem um custo maior que uma empresa que atua no interior do estado do Espírito Santo;
- Porte do Veículo: Um fator de redução do custo por tonelada/quilômetro ou passageiro/quilômetro transportado é a maior capacidade do veículo, desde que bem aproveitada (taxa de utilização);

- Desequilíbrio nos Fluxos: É o fator ligado aos deslocamentos pendulares – quem vai, volta. No caso de transporte de cargas, nem sempre isto é verdadeiro, diferentemente do transporte de passageiros.

É importante ressaltar que a redução de custo operacional deve ser feita em harmonia com a qualidade do nível de serviço oferecido aos usuários do sistema de transporte fretado, como por exemplo, inexistência de ocorrência de passageiros em pé.

3.3.2 Redução de Tempo de Viagem

A redução do tempo de viagem nos movimentos pendulares dos trabalhadores da indústria se constitui como um importante indicador de qualidade de nível de serviço.

De acordo com um estudo do IPEA, (2002), a medida que aumenta o tempo gasto no trajeto residência-trabalho tem-se uma perda da capacidade laborativa das pessoas. Esta perda de produtividade cresce progressivamente a partir de 40 minutos de viagem (Tabela 7).

Tabela 7 – Tempo de Viagem versus Redução de Produtividade

Tempo de Viagem (minutos)	Redução de Produtividade (%)
Até 40	Neutro
De 40 a 60	14
De 60 a 80	16
> 80	21

Fonte: IPEA (2002).

O tempo de viagem considerado neste estudo é somente aquele gasto pelo trabalhador a partir do momento de embarque no ônibus em sua origem até o desembarque no seu destino. Portanto, não é considerado o tempo gasto no deslocamento entre residência-ponto de embarque e ponto de desembarque-residência, tempo de espera no ponto de ônibus e deslocamento do ponto de desembarque-área de trabalho e área de trabalho-ponto de embarque.

A seguir serão demonstradas algumas características que permeiam o tempo de viagem dos trabalhadores da indústria na RMGV a qual se insere este trabalho, segundo pesquisa realizada pelo FINDES (2009).

Jornada de Trabalho e Tempo de Viagem Residência-Trabalho-Residência

Neste tópico o interesse está em mostrar os horários de início e término da jornada de trabalho para avaliar os períodos em que o trabalhador utiliza o transporte para deslocar-se no eixo residência-trabalho e vice versa. Os resultados apresentados na Tabela 8 mostram que a maioria dos trabalhadores pesquisados inicia sua jornada entre 07:00h e 08:00h, sendo que 49,47% inicia as 07:00h, 18,72% as 08:00h e 14,41% às 07:30h da manhã.

Já no horário de término de jornada evidencia-se que a maioria dos trabalhadores pesquisados encerram suas jornadas diárias entre 17:00h e 18:00 horas, sendo que 49,47% termina às 17:00h, 15,82% às 17:30h e 14,94% dos trabalhadores encerram sua jornada diária às 18:00h.

Em resumo, o maior volume de deslocamentos do trabalhador da indústria está no período entre 7:00h e 8:00h (viagem de ida ao trabalho) e entre 17:00h até 18:00h (viagem de retorno do trabalho).

A fixação do início e término da jornada de trabalho na expressiva maioria das empresas concentra o fluxo dos deslocamentos. Ainda, agrava-se essa situação o fato de que as escolas e o comércio também apresentam horários semelhantes para suas atividades.

É claro que o sistema de transporte coletivo público disponibiliza maior número de veículos nesses horários devido a demanda dos usuários. Esse uso intensivo do transporte coletivo, provoca engarrafamentos no trânsito e sua consequente lentidão de fluxo e ainda o desconforto da superlotação, piorando a qualidade dos serviços. Acrescenta-se ainda, o fluxo de veículos de transporte fretado de empregados das grandes empresas localizadas, principalmente na Serra e Vitória.

Tabela 8 - Relação entre Término e Início da Jornada de Trabalho (%)

Início Fim	05:00	05:30	06:00	06:30	07:00	07:30	08:00	08:30	09:00	10:00	11:00	12:00
01:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
02:00	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
03:30	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
06:00	0,0	0,0	0,4	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
07:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
07:30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11:30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12:00	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13:30	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14:00	0,2	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14:30	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15:00	0,3	0,0	0,3	0,0	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15:30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16:00	0,2	0,0	0,8	0,1	0,6	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16:30	0,0	0,0	0,0	0,1	1,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17:00	0,1	0,0	0,6	0,2	42,8	0,2	5,3	0,0	0,26	0,0	0,09	0,0
17:30	0,1	0,1	0,0	0,0	1,1	13,2	0,9	0,09	0,18	0,0	0,0	0,0
18:00	0,0	0,0	1,5	0,0	0,6	0,6	11,5	0,26	0,26	0,09	0,0	0,09
18:30	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,09	0,0	0,0
19:00	0,0	0,1	0,2	0,1	1,3	0,0	0,0	0,0	0,09	0,18	0,0	0,0
19:30	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,09	0,0
20:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21:00	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21:30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22:00	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
00:30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	0,9	0,4	9,2	0,9	49,9	14,4	18,7	0,4	0,8	0,4	0,2	0,1

Fonte: FINDES (2009).

Tempo de Viagem Residência-Trabalho-Residência

Outro fator importante é o tempo médio gasto pelo trabalhador para chegar à empresa (Tabela 9).

O trabalhador morador de Vitória que utiliza como transporte o ônibus é o que gasta o menor tempo médio entre todos os trabalhadores dos outros municípios da RMGV que também fazem uso do serviço de transporte público. No entanto, ainda sim, ele gasta uma média de 37 minutos para chegar ao trabalho.

A cidade de Vitória, por sua localização estratégica de “nó” do sistema apresenta maior número de linhas e veículos coletivos, o que em certa medida, explica esse menor tempo gasto pelo trabalhador, bem como sua pequena extensão territorial e, portanto, menor distância percorrida.

Os trabalhadores moradores de Vila Velha gastam, em média, 45 minutos para chegarem ao trabalho quando optam pelo uso do ônibus. As distâncias dos deslocamentos e uma pior infraestrutura viária poderiam em parte explicar esse aumento no tempo gasto.

Na Serra o panorama mostrou uma grande diferença de tempo gasto entre os que utilizam carro (18 minutos) em relação àqueles que fazem uso do ônibus (43 minutos). Esta diferença torna a questão passível de outras análises pormenorizadas para estudo de possíveis soluções e enfrentamento no âmbito do planejamento e na gestão do sistema de transportes coletivos.

Já os trabalhadores dos município de Cariacica, são os que mais tempo necessitam para chegar ao trabalho. Quando optam pelo ônibus como meio de transporte, alcançam a média de 58 minutos (tempo gasto). Portanto, o município apresenta a pior situação na mobilidade urbana para o trabalhador da indústria e isto é mais grave quando se percebe que o morador de Cariacica é o que mais se dispersa na metrópole para trabalhar em outros municípios. A falta de infraestrutura viária e a qualidade dos serviços de transporte coletivo penalizam ainda mais essa mão de obra.

Tabela 9 - Tempo de Viagem Residência-Trabalho por Município

Tempos (min.) / Município	Grande Vitória	Carro	Ônibus	Bicicleta	A Pé	Moto
Tempo Médio	36	22	47	18	14	19
Vitória	-	25	37	24	8	27
Vila Velha	-	31	45	17	14	14
Serra	-	18	43	17	14	15
Cariacica	-	28	58	27	15	24

Fonte: FINDES (2009).

Quando a questão volta-se para o conhecimento da média do tempo gasto para o retorno à residência, o trabalhador apresenta médias temporais ainda maiores, se comparado com os tempos gastos para ir trabalhar (Tabela 10). O trabalhador morador de Vitória gasta, em média, para retornar à sua residência, 48 minutos utilizando o ônibus. Fazendo uso do mesmo tipo de transporte, os moradores de Vila Velha, Serra e Cariacica apresentam respectivamente as seguintes médias de

tempo: 56 minutos, 51 minutos e 69 minutos. Cabe observar os elevados índices apurados e destacar o enorme tempo gasto pelos trabalhadores, principalmente os que residem em Vila Velha e Cariacica. No município de Vitória e Serra, mesmo com menores médias, já alcançam tempos próximos à uma hora no percurso (tempo gasto).

Tabela 10 – Tempo de Viagem Trabalho-Residência por Município

Tempos (min.) / Município	Grande Vitória	Carro	Ônibus	Bicicleta	A Pé	Moto
Tempo Médio	44	29	57	21	15	22
Vitória	-	41	48	26	11	36
Vila Velha	-	42	56	18	15	18
Serra	-	20	51	19	14	15
Cariacica	-	35	69	32	16	32

Fonte: FINDES (2009).

Uma das alternativas para minimizar o desgaste dos trabalhadores que encaram um sistema de transporte público saturado e deficiente é a adoção do transporte fretado. Segundo o Conselho Superior de Infraestrutura da FINDES, esta é uma solução que tem trazido ganhos para os dois lados. A empresa fica menos vulnerável a atrasos de funcionários e estes viajam de maneira mais confortável. Apesar destes ganhos, ressalta a contribuição dos ônibus e micro ônibus utilizados para o transporte fretado dos empregados no congestionamento das vias nos horários de pico, em torno de 300.

Segundo empresas de fretamento que atuam na RMGV, o uso do transporte coletivo próprio pelas empresas reduz o tempo médio de viagens em 40% em relação ao transporte público, garantindo maior segurança para o trabalhador e pontualidade para as empresas. Esta situação mitiga o desgaste das viagens de ida e volta do trabalhador, melhorando, portanto seu rendimento no trabalho.

O cenário de precariedade do transporte público apresentado corrobora com a necessidade de investimento em transporte fretado para os empregados das principais empresas instaladas na RMGV, e portanto, demonstra a importância em estudos que o tornem mais eficiente, como por exemplo, os estudos de roteirização de veículos empregando procedimentos informatizados.

3.4 MODELAGEM DO PROBLEMA NO *SOFTWARE* TRANSCAD

Para o problema de roteirização de veículos, o *software* TransCAD possui um módulo específico que resolve diversos tipos de problemas. Atua na fase preliminar de preparação dos dados, na resolução do problema de roteirização e programação de veículos e na elaboração das rotas, apresentando-as tanto na forma de relatórios quanto na forma gráfica (NETO E LIMA, 2006).

Basicamente, pode-se apontar quatro importantes passos no uso do módulo de roteirização de veículos do TransCAD:

- Preparação da entrada de dados: criar ou obter arquivos geográficos que mostrem as vias e suas direções, as localizações de cada base e pontos de paradas, junto com a informação sobre a demanda e outras características de cada um;
- Criação da matriz de roteirização: criar um arquivo matriz que contém a distância ou tempo de viagem entre cada parada;
- Resolução do problema de roteirização de veículos: desenvolver rotas eficientes de veículos de acordo com o critério pretendido;
- Apresentação dos resultados: gerar relatórios com os resultados do procedimento de roteirização, além de visualizar em forma gráfica.

A seguir serão detalhadas cada etapa para modelagem de um problema de roteirização de veículos no TransCAD.

3.4.1 Preparação da Entrada de Dados

Esta etapa é básica para a utilização do módulo de roteirização de veículos no *software* TransCAD e aquela que exige o maior esforço. Podemos citar a dificuldade na obtenção de dados georreferenciados para a modelagem da rede de transporte, sem a qual exigiria a construção manual, dispendendo maior tempo e potencializando maiores falhas que certamente influenciariam nos resultados

apresentados pelo programa. Isto sem dizer que em certas situações, poderia inclusive, inviabilizar o estudo.

No tratamento dos dados georreferenciados, são necessários alguns cuidados para garantir que a rede de transporte a ser modelada represente a condição real das vias, sob pena de apresentar erros, tais como, indicar rota fisicamente inviável ou apresentar distâncias e tempos super ou sub-dimensionados.

Para evitar ou pelo menos minimizar tais erros, recomendamos alguns cuidados básicos, tais como: certificar-se que a fonte de dados é confiável – normalmente são órgãos públicos; buscar a base de dados mais recente possível – isto reduzirá o tempo necessário para possíveis correções; realizar conferência com outra fonte de dados, por exemplo *Google Maps* ou *Google Earth* e, caso necessário, realizar visitas de campo.

Obtenção dos Arquivos Geográficos

O *Software* TransCAD reconhece uma série de extensões de arquivos geográficos, entre eles o *shape* utilizado neste trabalho. Para sua importação e reconhecimento do mapa pelo *software* basta utilizar o comando *add layer* criando as *layers* municípios, bairros e logradouros com extensão **dbf*, conforme mostrado na Figura 11.

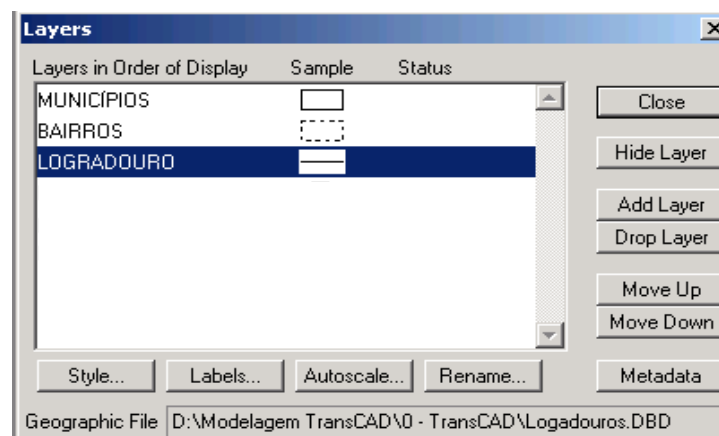


Figura 11 – Arquivos geográficos importados no TransCAD

Criação da Rede de Trabalho

Para a utilização do TransCAD, com o objetivo de se empregar a ferramenta de roteirização de veículos, faz-se necessário criar uma rede de trabalho, tratada pelo *software* como *Network*.

Por meio do TransCAD, é possível configurar a rede de trabalho (*network*) que, posteriormente, possibilitará a utilização do procedimento de roteirização da frota de ônibus de transporte dos empregados. Essa rede de trabalho é um dado estrutural do *software* que possibilita armazenar características do sistema de transporte (base e pontos de embarque e desembarque).

A rede de trabalho configurada é representada abstratamente com base na teoria dos grafos, onde há a presença de nós (*endpoints*) demarcando os encontros de vias, o que permite a mudança de direção nesses nós, e arcos (*links*) orientados que seguem os sentidos das vias da rede viária, conforme Figura 12.

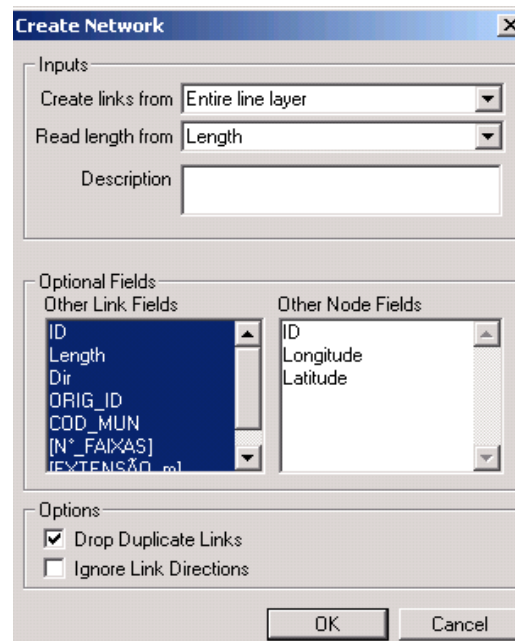


Figura 12 – Janela TransCAD para criação de rede

De acordo com Carrara (2007), a rede de trabalho (*network*) é utilizada para analisar o fluxo de pessoas e cargas de um lugar para outro. As informações contidas e derivadas da *network* são importantes para diferentes aplicações como: rotas e

itinerários, modo de escolha de modelos, indicação de modelos de tráfego, dentre outros.

Para realização de atualizações no arquivo geográfico logradouros, que representa o sistema viário (rodovias, avenidas e ruas) é necessário a utilização da ferramenta de edição de desenhos (*Map Editing*) mostrada na Figura 13. Esta ferramenta permite a adição dos novos nós (*endpoints*) aos arquivos geográficos importados, por exemplo, incluindo ou excluindo ruas, alterando traçados, dentre outras.



Figura 13 – Janela TransCAD para edição de mapas

No caso de necessidade de indicação dos sentidos de vias ou de sua alteração, o TransCAD possui a ferramenta *Link Direction* mostrada na Figura 14. Nesta ferramenta existem 5 (cinco) opções de sentido de via: mão dupla (*two way*); mão única – sentido norte (*one way northbound*); mão única - sentido sul (*one way southbound*); mão única – sentido leste (*one way eastbound*); mão única – sentido oeste (*one way westbound*).

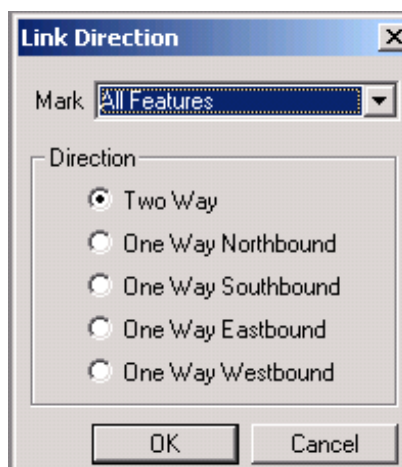


Figura 14 – Janela TransCAD para edição de sentido de vias

Criação dos Arquivos de Pontos

Para possibilitar a roteirização do transporte de empregados com o emprego do *software* TransCAD é necessário a criação da camada de pontos de parada (Figura 15). Esta camada representa a localização da base (ponto de partida dos veículos) e a localização dos empregados (pontos de embarque ou desembarque) que ficam localizados, neste estudo, em média de 400 m de suas respectivas residências.

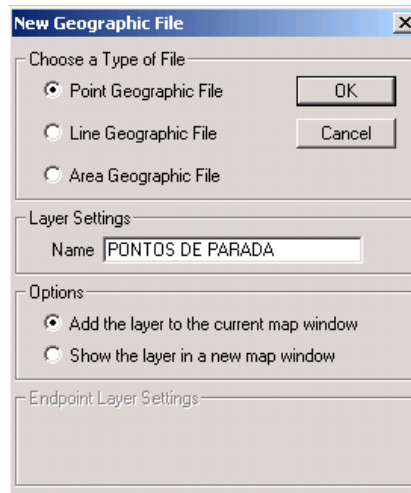


Figura 15 – Janela TransCAD para criação de arquivo geográfico de pontos

No modo de operação de coleta (*Pickup*) pode ser selecionada um único ponto de partida (base única) ou múltiplos pontos de partida (bases múltiplas), além de ser determinado o ponto final de desembarque, já que o destino de todas as viagens é um local único, neste caso, a empresa objeto do estudo.

No modo de operação de entrega (*Delivery*) deve ser selecionado um único ponto de partida (base única), pois, as viagens de retorno do trabalho partem de um local único, ou seja, da empresa objeto do estudo. O ponto final de desembarque do modo coleta é o mesmo ponto de partida do modo entrega. Neste modo de operação não é necessário a determinação do ponto final de desembarque, pois, o *software* se encarregará de escolher as melhores soluções.

Uma outra camada (*layer*) foi criada para indicar a localização exata dos passageiros, que neste caso são os empregados da empresa objeto de estudo. Desta forma, pode ser feita a visualização geográfica da demanda de transporte e

por exemplo, apoiar o planejamento de rotas que reduzam as distâncias percorridas a pé pelos empregados até os pontos de embarque ou desembarque.

Assim, foram importadas 3 (três) camadas (Municípios, Bairros e Logradouros) e criadas 2 (duas) camadas (Pontos de Parada e Passageiros), conforme Figura 16.

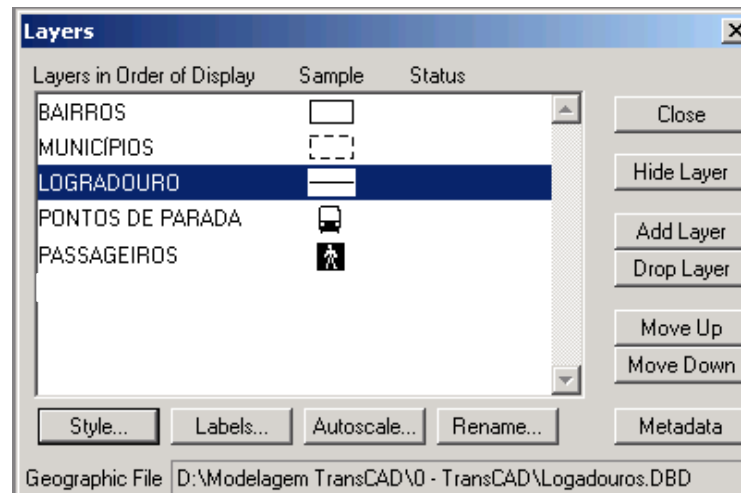


Figura 16 – Arquivos geográficos importados e criados no TransCAD

Para cada camada criada são necessárias parametrizações com os atributos específicos a cada uma, conforme exemplo da camada de pontos de parada mostrada na Figura 17. Estes atributos serão usados no desenvolvimento do estudo de roteirização.

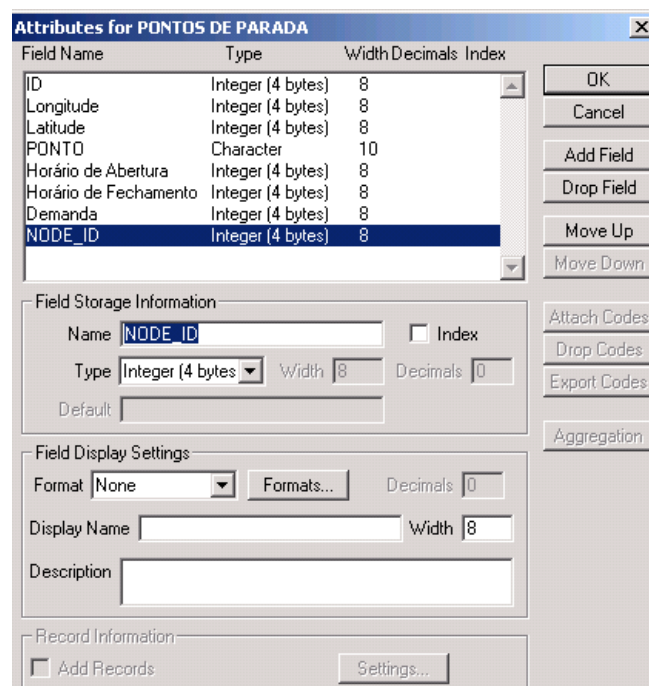


Figura 17 – Janela de parametrização de atributos para camadas no TransCAD

Para a camada de pontos de parada existem atributos que devem ser obrigatoriamente parametrizados para construção da matriz de roteirização necessária a resolução de problemas de roteirização de veículos. Existem ainda outros atributos adicionais que devem ser parametrizados caso a matriz de roteirização seja baseada na rede de trabalho.

As parametrizações obrigatórias são as seguintes:

- ID (Latitude e Longitude): número de identificação da base que relaciona dados do mapa (latitude e longitude) com o banco de dados;
- Open Time (horário de abertura): hora de início do funcionamento da base;
- Close Time (horário de fechamento): hora de fechamento do funcionamento da base;
- Node ID: O *Node ID* é responsável por relacionar a camada (*layer*) de ponto de parada com o nó (*endpoints*) mais próximo da rede de trabalho. Este recurso permitiu selecionar o ponto de embarque mais próximo das residências dos empregados, assim, minimizando a distância percorrida pelos empregados até os pontos de embarque, neste estudo, uma média de 400 m;
- Pickup ou Delivery Demand (Demanda): demanda por coleta ou entrega.

As parametrizações adicionais são as seguintes:

- Fixed Time: tempo fixo para realizar a operação de coleta ou entrega dos empregados nos pontos de parada. Para cada parada, pode ser atribuído um tempo fixo de entrega, o que é mais usual, ou todas as paradas podem assumir o mesmo valor de tempo;
- Time per Unit: tempo por unidade na operação de coleta e entrega dos empregados nos pontos de parada. Para cada parada, pode ser atribuído um tempo por unidade de coleta ou entrega ou todas as paradas podem assumir o mesmo valor de tempo por unidade;
- Depot Assigned: designação de bases às paradas.

Caracterização dos Veículos

O *software* TransCAD possui uma tabela (Figura 18) que deve ser parametrizada com as características dos veículos utilizados no modelo. Os campos a serem preenchidos são os seguintes:

- Depot ID: número de identificação (*ID*) da base no qual o veículo estará vinculado;
- Type: número atribuído para cada tipo de caracterização de veículo;
- Capacity: capacidade máxima que o veículo suporta. Observa-se que a unidade para esse campo deve ser a mesma para as demandas dos nós de parada;
- No. vehs: número de veículos disponível na base;
- Cost: custo operacional do veículo.

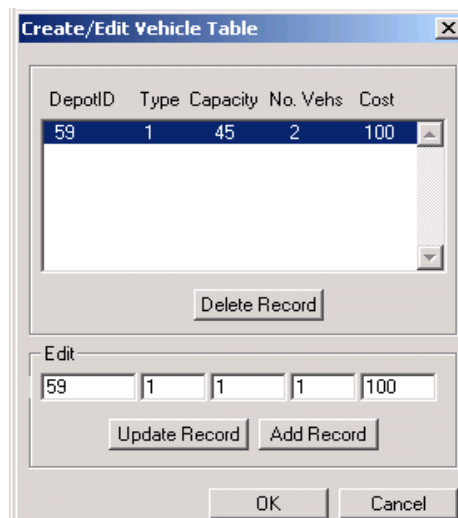


Figura 18 – Janela para criação e edição da tabela de veículos no TransCAD

3.4.2 Criação da Matriz de Roteirização

A matriz de roteirização é um arquivo de matriz (*matrix file*) que contém a distância ou o tempo de viagem entre cada ponto de partida dos veículos (base) e os demais pontos de paradas (pontos de embarque e desembarque) e entre todo par de paradas. Esse arquivo é a entrada primária para a resolução do PRV e é criado

através de uma caixa de diálogo do procedimento de roteirização de veículos, conforme Figura 19.

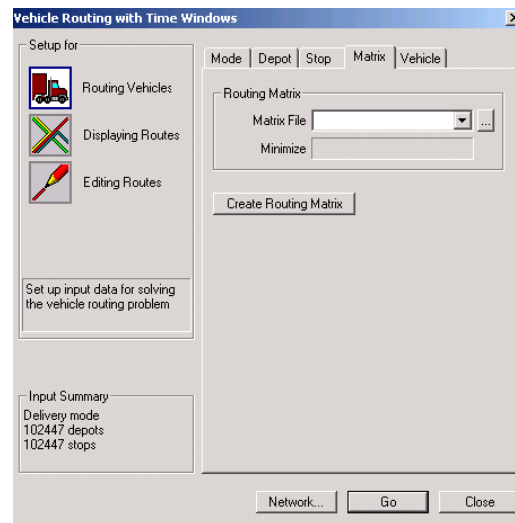


Figura 19 – Janela para criação da matriz de roteirização no TransCAD

A matriz de roteirização segundo o Manual do TransCAD (Caliper, 2011), pode ser usada repetidas vezes para resolver os problemas de roteirização de veículos. Esta matriz pode ser utilizada para:

- Processamento de roteirização de veículos para criar rotas usando um subconjunto de paradas e bases que aparecem na matriz de roteirização;
- Variação da demanda, capacidades de veículos, janelas de tempo, ou outros parâmetros do problema de roteirização sem necessidade de recriar a matriz de roteirização.

Na matriz de roteirização, seleciona-se o que se quer minimizar: distância ou tempo. Para isso, a matriz conta com 2 (dois) modos diferentes de calcular distância ou tempo. A primeira por meio da rede de trabalho e a segunda através de distâncias lineares entre nós. Segundo Carrara (2007), o modo usado para minimizar distância ou tempo por meio da rede de trabalho é mais preciso do que o das distâncias lineares entre nós, pois esse utiliza valores de tempo e distância estimados.

O modo rede de trabalho, além de ser mais exato, permite que você crie um sistema de rotas. Ao usar a rede de trabalho para criar uma matriz de roteirização, o *software* calcula o tempo e a distância entre cada par de paradas (pontos de

embarque/desembarque) e entre cada ponto de partida (base ou bases) e o ponto de parada (pontos de embarque/desembarque), calculando o menor caminho entre eles. Uma vez que o ponto de partida (base ou bases) e os pontos de parada (pontos de embarque/desembarque) não estão ligados diretamente na rede, a matriz de roteirização realiza o procedimento real, utilizando os valores de distância e tempo dos nós (*Node ID*) mais próximo dos pontos de partida e parada (embarque/desembarque).

3.4.3 Resolução do PRV

O *software* TransCAD trabalha com métodos que se baseiam na heurística desenvolvida por Clarke e Wright (1964) para solução de problemas com cobertura em nós, caso deste estudo, assim como na heurística do Problema do Carteiro Chinês Misto, sugerida por Edmonds e Johnson (1973) e melhorada por Frederickson (1979) em caso de cobertura de problemas em arcos (MELO, 2000).

O método de Clarke e Wright (1964) é muito utilizado na resolução de diversos problemas isolados, como também é empregado por muitos *softwares*, por exemplo, o TransCAD. Esse método tem como objetivo gerar roteiros que respeitem as restrições de tempo e de capacidade, mas objetivando, ao mesmo tempo, minimizar a distância total percorrida pela frota (NOVAES, 2007).

3.4.4 Apresentação dos Resultados

Os procedimentos de roteirização de veículos produzirão 3 (três) arquivos de saída:

- Um arquivo texto contendo o itinerário de cada veículo;
- Um arquivo texto com o relatório de resumo da roteirização, que contém uma lista de dados de entrada e saída utilizados no procedimento de roteirização. Este relatório é produzido somente se a opção *Show Report* da caixa de diálogo *Results Summary* for acionada;

- Uma tabela de rotas com a listagem das paradas em cada rota, caso a matriz de roteirização tenha sido baseada na rede de trabalho.

Caso a matriz de roteirização tenha sido criada a partir da rede de trabalho, as rotas obtidas podem ser convertidas em um sistema de rotas. Essa conversão possibilita exibir as rotas em um mapa, editá-las, ou fazer análise espacial.

Para criar um sistema de rotas (Figura 20) deve-se fornecer as seguintes informações:

- O nome da Tabela de rotas que foi obtida na roteirização dos veículos;
- A camada de linha, rede e configurações que foram usadas para criar a matriz de roteirização.

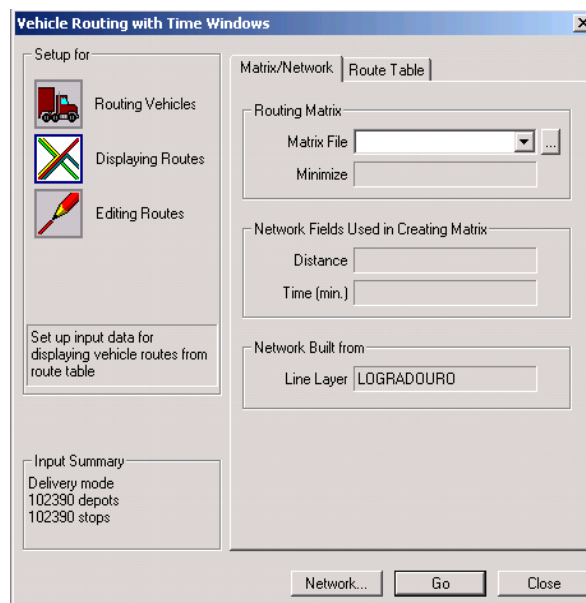


Figura 20 – Janela para criação de arquivo gráfico de rotas no TransCAD

No próximo capítulo foi feita a aplicação do procedimento de roteirização por meio de um estudo de caso em uma empresa de grande porte, situada no município da Serra, Estado do Espírito Santo, com o emprego do *software* TransCAD.

4 APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO

Neste capítulo é apresentada uma aplicação do procedimento proposto para a resolução do problema de transporte de empregados por uma frota de ônibus fretada em suas viagens de ida e volta do trabalho, utilizando o módulo de roteirização de veículos disponível no *software* TransCAD.

O objetivo desta aplicação é apoiar os gestores e operadores de sistema de transporte na construção de rotas mais eficientes. Para tanto, deve-se dimensionar a frota e escolher a melhor rota que os ônibus devem percorrer em atendimento a demanda, buscando minimizar a distância total percorrida, o tempo das viagens e o custo operacional.

Para atingir o objetivo, serão realizadas simulações de alguns cenários, variando parâmetros como: a seleção de base única e múltiplas e a obrigatoriedade de retorno do veículo à base, permitindo testar diferentes alternativas de solução do problema.

A seguir, será feita a delimitação da região de estudo, caracterizado o sistema de transporte de empregados e realizada a modelagem e resolução do problema de roteirização com emprego do *software* TransCAD.

4.1 DELIMITAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

A cidade de Vitória é a capital do Estado do Espírito Santo. Localiza-se no litoral da Região Sudeste e é constituída de 34 ilhas. Possui uma extensão de 98,50 km², densidade demográfica de 3.327 hab/km² e 1.100 km de costa. O município integra a Região Metropolitana da Grande Vitória, juntamente com os municípios de Serra, Vila Velha, Cariacica, Viana, Fundão e Guarapari (PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA, 2011).

O município de Vitória é organizado em 83 bairros e oito regionais administrativas, à saber: Região 01 - Centro; Região 02 - Santo Antônio; Região 03 - Bento Ferreira; Região 04 - Maruípe; Região 05 - Praia do Canto; Região 06 - Continental; Região 07 - São Pedro e Região 08 - Jardim Camburi.

A região 8 fica localizada ao norte da baía de Vitória, formada pelo Bairro Jardim Camburi que tem uma extensa área populacional e geográfica, aproximadamente 2,6km².

A cidade de Vitória e a região 8 (Figura 21) se enquadra nos aspectos geográficos, de perfil das empresas, de perfil dos trabalhadores da indústria, assim como no eixo e na forma de locomoção destes trabalhadores em seus movimentos pendulares. Portanto, sendo delimitada para este estudo.

A Região 8 fica localizada em um dos principais eixos viários entre o Município da Serra, sede da empresa objeto de estudo, e o Município de Vitória – Bairro de Jardim Camburi, domicílio de uma amostra significativa de trabalhadores desta mesma empresa.

Além disto, o Bairro de Jardim Camburi (região 8) possui uma extensa malha viária, formada por avenidas e ruas com características de mobilidade urbana típicas de grandes centros urbanos. Em horários de pico existe uma intensa circulação de veículos, principalmente, ônibus e carros que provocam congestionamentos, como por exemplo, a Avenida Norte-Sul, citada no estudo da FINDES e apresentado no capítulo anterior, como uma das mais movimentadas vias para deslocamentos dos trabalhadores em seus movimentos pendulares.

Cabe ressaltar que a escolha da região 8 do Município de Vitória permite uma maior acurácia dos resultados advindos da aplicação do procedimento de roteirização. Isto se deve a proximidade entre a região 8 e a empresa objeto deste estudo, permitindo assim, a indicação do sentido de fluxo de todas as vias que serão consideradas na aplicação do procedimento de roteirização, o que demandaria maior esforço e tempo se fosse feito em outras regiões pela falta de indicação do sentido de fluxo da rede de transporte.

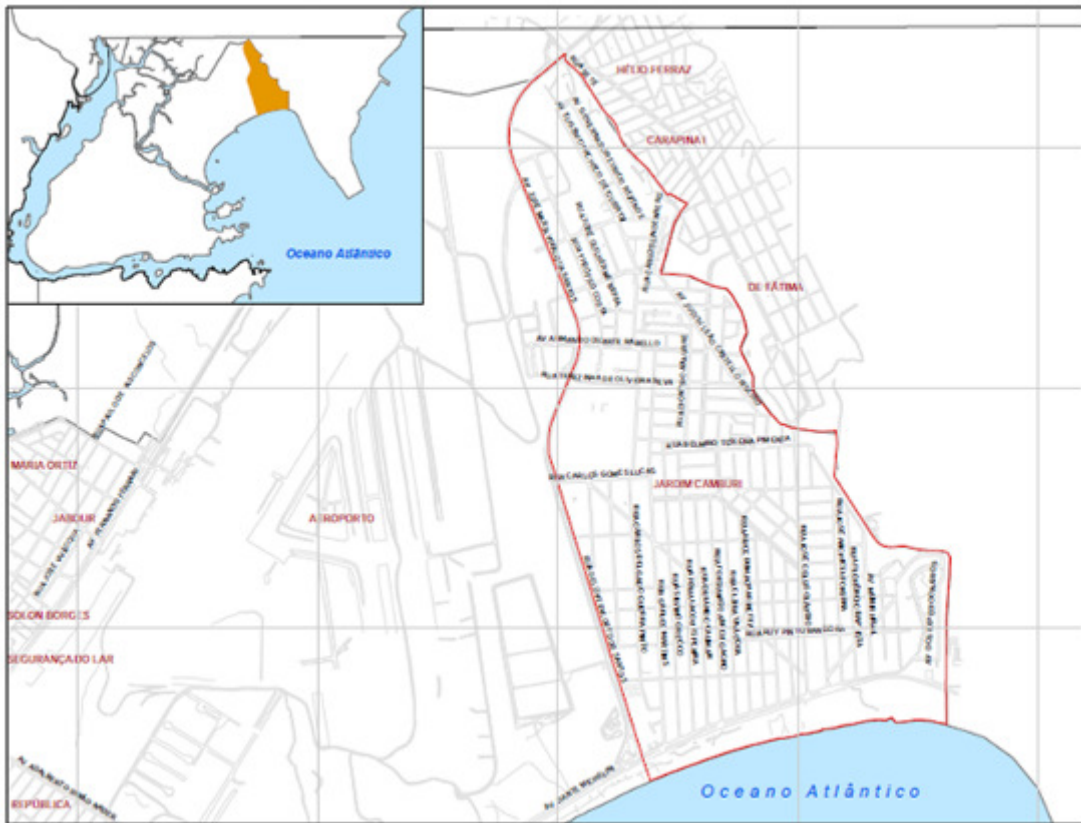


Figura 21 - Região 8 do município de Vitória - bairro de Jardim Camburi
Fonte: PMV (2011).

4.2. CARACTERIZAÇÃO DO TRANSPORTE DE EMPREGADOS

A ArcelorMittal Tubarão é uma das 4 (quatro) grandes empresas da Região Metropolitana da Grande Vitória que oferece transporte próprio a seus empregados. Fica localizada no município da Serra. Juntamente com outras três grandes empresas, oferecem transporte próprio para 10.880 empregados, cerca de 12% do total de trabalhadores do setor industrial (LUZ, 2010). Sendo que, a AMT responde sozinha por 4.037 empregados transportados, equivalente a 37% deste total.

A seguir serão mostrados alguns aspectos do sistema de transporte de empregados da ArcelorMittal Tubarão que servirão para a modelagem e resolução do problema de logística de distribuição física de empregados a que se propõem o procedimento.

4.2.1 Aspectos da Demanda de Transporte

O transporte de empregados próprios e parte dos terceiros no percurso residência-trabalho-residência na ArcelorMittal Tubarão é feito por meio de um serviço de fretamento de ônibus operado pela empresa Satélite.

O transporte coletivo na ArcelorMittal Tubarão por ônibus atende a uma média de 6.731 usuários/dia, composto de 60% de funcionários próprios da ArcelorMittal Tubarão, equivalente a 4.037 usuários e 40% de empresas parceiras, equivalente a 2.962 usuários. O transporte atende aos empregados de dois regimes de trabalho com horários distintos: Turno (06h00 às 18h00 e 18h00 às 06h00 e; 14h00 às 22h00) e Industrial (08h15 às 17h15).

Para este estudo será considerado 100% do efetivo próprio da ArcelorMittal Tubarão, residente no Bairro de Jardim Camburi e que trabalha no horário industrial (08h15 às 17h15), o que corresponde a 314 empregados. Desta forma, será considerada a hipótese de que todos os empregados serão atendidos, apesar do conhecimento de que esta demanda pode variar pelos motivos já mencionados na seção 3.1. Esta afirmação é corroborada pela taxa de utilização dos veículos na região delimitada pelo estudo, 81%.

Portanto, a amostra a ser considerada no procedimento é composta por 314 empregados, equivalente a:

- 6,56% do total de empregados da empresa, que é 4.789 empregados;
- 24,06% do total de empregados que residem no Município de Vitória, que é 1.305 empregados;
- 15,79% do total de empregados que trabalham no horário industrial, que é 1.989 empregados;
- 39,5% dos total de empregados residentes no Município de Vitória que trabalham no horário industrial, que é 795 empregados.

4.2.2 Aspectos da Frota

A frota é composta por 77 ônibus, sendo 5 reservas para atender a quaisquer eventualidades, como: atraso, quebra, manutenção ou outra situação qualquer que exija uma substituição do veículo titular. Todos os 77 ônibus são do tipo convencional, com capacidade para 43 a 45 passageiros sentados e idade média de 4,5 anos (Figura 22).



Figura 22 – Ônibus convencional de transporte de empregados
Fonte: Viação Satélite (2011).

4.2.3 Aspectos de Distribuição das Linhas de Ônibus

Os municípios de Vitória, Serra, Vila Velha e Cariacica são atendidos com 84 linhas de ônibus que circulam nas principais vias de seus bairros. Parte da frota - 49 linhas, atendem ao horário industrial, a outra parte – 35 linhas atendem ao horário de turno.

As linhas de ônibus podem ser estratificadas em dedicadas e compartilhadas. Entende-se por linhas dedicadas aquelas que somente atendem a determinado município ou bairro. As linhas compartilhadas são aquelas que atendem a mais de um município ou bairro.

Neste trabalho, o foco está em estudar as linhas dedicadas do horário industrial que atendem o Bairro de Jardim Camburi. Tal escolha se deve ao fato de que as linhas de turno circulam em horários fora do horário de pico, além de atenderem a um número menor de usuários.

Em relação as linhas compartilhadas, que são utilizadas basicamente para aumentar a taxa de ocupação dos veículos, se torna difícil sua inclusão, já que demandaria um nível de abrangência geográfica maior do que o delimitado para este estudo.

4.2.4 Aspectos de Gestão e Controle Operacional

A gestão do sistema de transporte de passageiros é feita por uma equipe da ArcelorMittal Tubarão, cuja responsabilidade é de supervisionar e fazer cumprir o contrato de fretamento, identificar e solucionar problemas, além de implementar melhorias que venham a otimizar os recursos e tornar mais confortável e seguro o transporte para o empregado.

A operação do sistema de transporte é feito per uma equipe da própria empresa de fretamento composta por 8 funcionários administrativos e 126 motoristas. As principais responsabilidades da equipe de controle operacional é gerir os meios de transporte e sua equipagem, planejar e garantir o cumprimento das rotas e horários e acompanhamento dos indicadores de nível de serviço.

Qualquer alteração de rota para atender a demanda de empregados ou outras necessidades quaisquer é feita de forma empírica, utilizando-se de experiência e conhecimento da equipe de gestão e operação do sistema de transporte e testes de campo com os veículos. Este procedimento demanda maior tempo e custos para solução de problemas.

4.2.5 Dados do Sistema de Transporte para Modelagem do Problema

Nesta seção serão mostrados os dados e informações utilizados para a aplicação do procedimento de roteirização proposto no capítulo anterior. A Tabela 11 resume os principais dados da empresa objeto deste estudo utilizados na modelagem e resolução do problema.

Tabela 11 – Dados do Sistema de Transporte AMT

Modo de Operação	Base	Pontos de Paradas	Usuários	Veículos	Tempos		
					Parada	Embarque/Desembarque	Atendimento
Coleta	Única ou Múltipla	59	314	7	1 min.	9 s	07h00 às 08h00
Entrega	Única	59	314	7	1 min.	9 s	17h20 às 18h20

A seguir são detalhados cada item utilizado para aplicação do procedimento.

Localização da Base

A base é o ponto de origem de onde partem os ônibus para coletar os empregados com destino a empresa e entregar (distribuir) com destino as suas residências.

A localização da base neste estudo varia de acordo com o percurso da viagem. No percurso residência-trabalho, a base pode ser qualquer ponto de parada inicial do veículo para a coleta dos empregados, podendo ser única ou múltipla.

No percurso trabalho-residência, a base é única e localizada em um ponto geográfico dentro da empresa objeto deste estudo. A esta base denomina-se rodoviária (Figura 23). Dela partem todos os ônibus com destino as residências dos empregados, independente de horários e linhas, compartilhadas ou não. Além disto, a rodoviária é o local de destino de todos os ônibus do percurso residência-trabalho.



Figura 23 – Rodoviária
Fonte: Google (2010).

Localização, Demanda e Tempos de Embarque / Desembarque dos Empregados

A localização e demanda dos empregados residentes na Região 8 – Bairro de Jardim Camburi e que trabalham no horário industrial é conhecida com antecedência, mediante acesso a base de dados da Área de Recursos Humanos da empresa pesquisada. Este banco de dados possui o endereço de cada um dos 314 empregados selecionados para este estudo. Cada empregado representa uma unidade a ser atendida.

É de conhecimento que parte da demanda de empregados não utiliza ou utiliza esporadicamente o transporte oferecido pela empresa, optando por outros meios de locomoção, principalmente, o automóvel. Um dos fatores que pode explicar esta situação é a relativa proximidade do Bairro de Jardim Camburi com a empresa objeto de estudo, aproximadamente 7km.

Para resolver este problema, o procedimento permite alterar a demanda de coleta ou entrega de empregados a qualquer tempo. Esta alteração pode ser feita por meio do controle diário da taxa de utilização dos veículos que atendem o Bairro de Jardim Camburi, realizada pelos operadores do sistema de transporte.

Foram considerados na aplicação do procedimento, 58 pontos de embarque e desembarque. Estes pontos de parada são os mesmos utilizados como pontos de transporte público urbano na região delimitada para este estudo. A localização geográfica destes pontos, assim como a nomenclatura utilizada para codificá-los, foi obtida por meio de acesso ao programa Ponto Vitória da Secretária de Transportes da Prefeitura Municipal de Vitória.

Para preencher a demanda dos 58 pontos de embarque e desembarque (pontos de parada) com os 314 empregados, foi utilizado o recurso *NODE_ID* do ponto de parada na camada de passageiros, aquela que possui a localização exata de cada empregado. Este recurso do TransCAD foi utilizado para reduzir o máximo possível o percurso feito pelo empregado entre o domicílio e o ponto de parada. Na empresa objeto deste estudo, a distância máxima permitida entre residência e ponto de embarque/desembarque é de 1km.

O tempo médio de embarque ou desembarque de cada empregado é de 9 (nove) segundos. Este tempo foi determinado a partir de entrevista com motoristas da empresa operadora do sistema de transporte. Observa-se que os empregados usuários de ônibus normalmente não tem dificuldade de locomoção e possuem uma idade entre 18 e 55 anos.

Para o tempo fixo de parada, aquele que independe da demanda, foi considerado 1 minuto por parada. Este tempo contempla frenagem e aceleração do veículo, após embarque ou desembarque do passageiro. Este tempo foi determinado da mesma forma que o tempo médio de embarque e desembarque dos empregados, ou seja, entrevista com os motoristas da empresa operadora do sistema de transporte.

Portanto, o tempo total de serviço por passageiro contempla 1 minuto por parada mais 9 segundos para embarque/desembarque.

Restrições de Horários e Tempos de Viagem

A base tem restrição de horário de atendimento, apesar de não haver obrigatoriedade de retorno dos veículos a mesma. Esta restrição depende do percurso realizado.

No percurso residência-trabalho o horário de abertura da base (ponto de partida) depende de sua distância em relação a empresa, da localização geográfica e do tempo gasto para cumprimento da rota onde serão coletados os empregados. Neste estudo, o horário de abertura da base é 07h00, pois o Bairro de Jardim Camburi fica relativamente próximo a empresa, como já foi dito. O horário de fechamento da base é 08h00, visto que este horário é padrão para chegada à rodoviária da empresa, onde a partir daí são feitos os baldeios que levarão os empregados até suas respectivas áreas de trabalho.

Já no percurso trabalho-residência o horário de abertura da base é 17h20. Este é o horário em que partem todos as linhas de ônibus da base – rodoviária em direção as residências dos empregados. O horário de fechamento da base foi assumido como sendo às 18h20.

Em relação aos horários de atendimento dos empregados, repete-se as mesmas condições de horários determinadas para a base, ou seja, no percurso residência-trabalho entre 07h00 e 08h00 e no percurso trabalho-residência entre 17h20 e 18h20. Em ambos os casos, percurso residência-trabalho e trabalho-residência, a duração do tempo de viagem não deve exceder 1h, sendo este o padrão da empresa objeto deste estudo.

Estas informações foram fornecidas pela Área responsável pela gestão e operação do Sistema de Transporte da AMT.

Veículos

Foi considerado neste estudo uma frota de 7 (sete) veículos com capacidade para 45 passageiros sentados. Esta escolha foi feita de forma a atender 100% da demanda de transporte de empregados da AMT no Bairro de Jardim Camburi, que trabalham no horário industrial.

Custo operacional

Para a composição do custo operacional da frota de ônibus fretada para transporte de empregados, foram considerados os seguintes itens:

- Mão de Obra: formada pelos custos com salários dos motoristas, pessoal de limpeza e manutenção, administração direta, uniforme, vale transporte, vale-alimentação, seguro de vida, e plano de saúde;
- Veículos: formada pelos custos com preço do veículo utilizado, depreciação, seguro obrigatório, seguro RCF, licenciamento e taxa CETURB-GV;
- Outros Insumos: formada pelos custos com combustível, pneus novos, pneus de recapagem, peças, óleos e lubrificantes.

De acordo com a empresa de fretamento contratada para o transporte dos empregados objeto deste estudo, a distribuição percentual dos itens que formam o

custo operacional é a seguinte: Mão de Obra (55%); Veículos (27%); Outros Insumos (18%).

Considerando os conceitos e a fórmula matemática (10), apresentados na subseção 3.3.1, a distribuição percentual do custo operacional descrita acima, bem como de seu valor hipotético de R\$3,27/km, o cálculo do custo operacional por quilômetro rodado e de sua composição, seria o seguinte: $CO=R\$3,27/km$; $CF=R\$1,80//km$; $CV=R\$0,88/km$; $C I=R\$0,59/km$.

Malha Viária

A malha viária georreferenciada do estado do Espírito Santo foi obtida do IJSN – Instituto Jones dos Santos Neves por meio de imagens ortofotomosaica, contendo os municípios, bairros, rodovias e logradouros necessários ao desenvolvimento do estudo.

As velocidades médias e tempos de semáforos nas vias entre a região delimitada e a empresa objeto deste estudo não foram consideradas na modelagem e resolução do problema.

4.3 MODELAGEM DO PROBLEMA DE TRANSPORTE DE EMPREGADOS NO TRANSCAD

Para a modelagem e resolução do problema de roteirização de veículos foi utilizado o módulo de roteirização do *software* TransCAD 4.8 - versão acadêmica, que é um programa do tipo SIG-T desenvolvido pela Caliper Corporation.

De acordo com o procedimento proposto no capítulo 3 deste trabalho, as etapas para a modelagem e resolução do problema no TransCAD serão feitas da seguinte forma: Coleta e Preparação da Entrada de Dados; Criação da Matriz de Roteirização; Resolução do PRV; Resultados do Procedimento.

4.3.1 Preparação dos Dados de Entrada para Solução do Problema

Antes de iniciar a etapa de preparação dos dados no *software* TransCAD, propriamente dita, foi feita a coleta de dados para modelagem do problema. Estes dados são as seguintes:

- Dados geográficos: Os dados georreferenciados com base em imagens ortofotomosaicas do Estado do Espírito Santo foram obtidas do Instituto Jones dos Santos Neves – IJSN, 2008;
- Dados da Região de Estudo: Os dados e informações da região administrativa 8 do município de Vitória, compreendendo o Bairro de Jardim Camburi foram obtidas da Prefeitura Municipal de Vitória – PMV;
- Dados da Base: Todas os dados e informações da base (localização, horários e restrições) foram obtidos junto a Área de Transportes da ArcelorMittal Tubarão;
- Dados dos Empregados: As informações e dados dos empregados (localização, horários e restrições) foram obtidas junto as Áreas de Transportes e Recursos Humanos da ArcelorMittal Tubarão;
- Dados dos Veículos: As informações e dados dos veículos (tipo, modelo, capacidade) foram obtidas da empresa Satélite, responsável pela operação do sistema de transporte dos empregados da ArcelorMittal Tubarão.

Após a coleta dos dados e informações, foi dado prosseguimento a etapa de preparação da entrada de dados com a criação da rede de trabalho. As principais atividades nesta fase são: Importação dos dados geográficos para o TransCAD; Criação das camadas; Verificação da consistência viária; Determinação do sentido de fluxo das vias.

Criação da Rede de Trabalho da Região 8 do Município de Vitória

A importação dos dados geográficos georreferenciados fornecidos pelo IJSN já se encontravam na extensão reconhecida pelo *software* TransCAD, o formato *shape*.

Após a importação desses dados para o TransCAD e reconhecimento do mapa pelo programa foram criadas as camadas municípios, bairros e logradouros.

Em seguida, foi feita a comparação entre a base de dados viária importada do IJSN e a base geográfica disponível no site da Prefeitura Municipal de Vitória, *Google Earth e Google Maps*. Algumas inconsistências foram encontradas, como por exemplo, inexistência da Avenida Miramar entre o Bairro de Fátima e o Bairro de Jardim Camburi. Além disto, foram verificados alguns nomes e traçados de vias diferentes da situação real.

Para atualização da base de dados foi utilizada a ferramenta de edição de desenhos (*Map Editing*) do TransCAD por digitalização direta na tela do computador. Após terem sido atualizados, seus nomes foram adicionados manualmente, um a um, no arquivo *.dbd (extensão do arquivo gerado pelo TransCAD), para o armazenamento de dados sobre os elementos geográficos.

A determinação do sentido de fluxo das vias da rede de transporte foi feita com base no *Google Maps*, apoio da empresa responsável pela operação dos veículos e visita de campo. Este mesmo procedimento foi feito nos Bairros de Fátima, Carapina I, Hélio Ferraz, Eurico Salles, Manoel Plaza e São Geraldo por ficarem no caminho entre o Bairro de Jardim Camburi e a AMT. Para isto, foi utilizada a ferramenta de *Link Direction* do TransCAD.

A Figura 24 mostra o arquivo geográfico da região delimitada para o estudo, desde o Bairro de Jardim Camburi até o Parque Industrial, onde está localizada a AMT, com o sentido de fluxo das vias implementados.

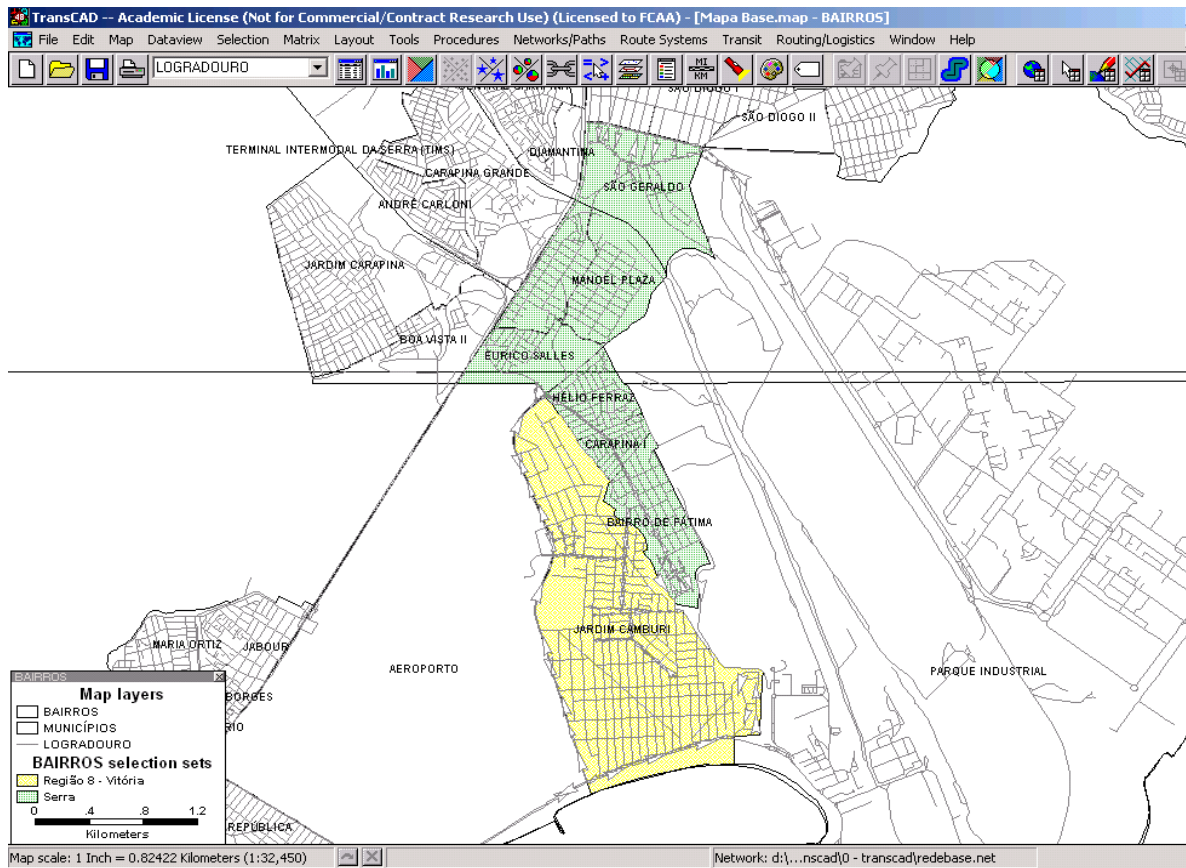


Figura 24 – Rede de transporte da região delimitada para o estudo

Criação dos Arquivo Geográficos

Inicialmente, foi construída uma camada (Figura 25) contendo a localização dos 58 pontos de transporte público no Bairro de Jardim Camburi, por onde serão embarcados e desembarcados os empregados, além da rodoviária localizada no site da empresa pesquisada, totalizando 59 pontos.

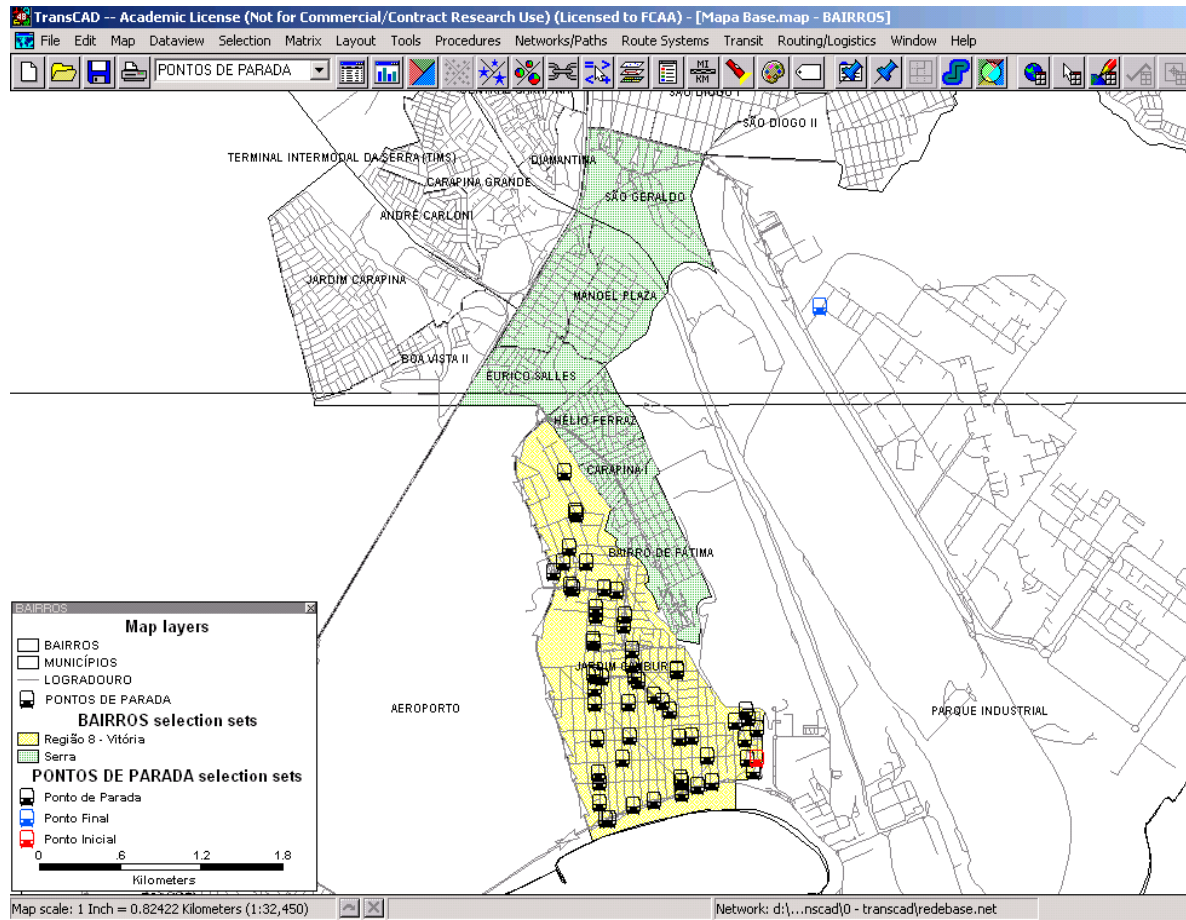


Figura 25 – Camada com a localização dos pontos de parada

Cada ponto foi parametrizado com os dados obrigatórios e adicionais necessários a criação da matriz de roteirização que dará origem a resolução do problema. Esta parametrização é mostrada na Figura 26.

Os dados foram parametrizados em uma única *dataview* (pontos de parada). Desta forma, a seleção da base ou bases (ponto de partida), dos pontos de parada (embarque/desembarque), assim como ponto final (rodoviária) no modo de operação de coleta (neste caso), podem ser realizadas de acordo com a simulação que se deseja (coleta ou entrega). Nesta mesma *dataview* estão todos os demais parâmetros que precisam ser informados para cada modo de operação requerido (*Pickup e Delivery*): horários de atendimento (*Open e Close Time*) e demanda.

Cabe destacar que a localização das duas garagens onde os veículos da empresa de fretamento ficam guardados não está sendo considerada neste estudo, pois, o

interesse está em construção de rotas mais eficientes somente no percurso residência-trabalho-residência.

	Longitude	Latitude	[Nº Ponto]	NODE_ID	Pickup	[Open Time (Pickup)]	[Close Time (Pickup)]	Delivery	[Open Time (Delivery)]	[Close Time (Delivery)]
	-40261772	-20262419	8064	88652	13	700	800	13	1720	1820
	-40269416	-20263592	8047	88505	4	700	800	4	1720	1820
	-40269684	-20258070	8043	88916	3	700	800	3	1720	1820
	-40259025	-20259486	8003	88914	0	700	800	0	1720	1820
	-40263925	-20256860	8054	88843	4	700	800	4	1720	1820
	-40267022	-20255598	8026	89178	4	700	800	4	1720	1820
	-40269606	-20252904	8038	89099	0	700	800	0	1720	1820
	-40271798	-20244091	8060	89430	1	700	800	1	1720	1820
	-40269020	-20251615	8031	89342	0	700	800	0	1720	1820
	-40269301	-20265465	8049	88473	9	700	800	9	1720	1820
	-40268951	-20266486	8052	88506	1	700	800	1	1720	1820
	-40267681	-20253985	8029	89250	3	700	800	3	1720	1820
	-40264928	-20258951	8015	88997	8	700	800	8	1720	1820
	-40265549	-20265302	8053	88551	10	700	800	10	1720	1820
	-40267083	-20256538	8027	89008	0	700	800	0	1720	1820
	-40268174	-20251762	8030	89073	10	700	800	10	1720	1820
	-40271492	-20249020	8033	89331	9	700	800	9	1720	1820
	-40269185	-20257354	8056	88788	5	700	800	5	1720	1820
	-40267312	-20259003	8019	88743	3	700	800	3	1720	1820
	-40261450	-20264130	8008	88474	2	700	800	2	1720	1820
	-40263615	-20263928	8011	88655	7	700	800	7	1720	1820
	-40269757	-20255134	8040	88885	2	700	800	2	1720	1820
	-40267196	-20261219	8021	88635	8	700	800	8	1720	1820
	-40265545	-20258560	8016	88861	2	700	800	2	1720	1820
	-40270958	-20246860	8059	89358	3	700	800	3	1720	1820
	-40259826	-20260231	8004	88638	0	700	800	0	1720	1820
	-40263604	-20264131	8010	88655	2	700	800	2	1720	1820
	-40264429	-20259502	8014	88569	20	700	800	20	1720	1820
	-40272535	-20250610	8061	89409	0	700	800	0	1720	1820
	-40266853	-20257291	8018	88953	0	700	800	0	1720	1820
	-40258311	-20260720	8002	88914	0	700	800	0	1720	1820
	-40269617	-20253338	8037	89169	5	700	800	5	1720	1820
	-40271402	-20251472	8035	89347	1	700	800	1	1720	1820
	-40253837	-20233477	RODOVIÁRIA	93013	--	700	800	314	1720	1820

Figura 26 – Dados da camada dos pontos de parada

Também foi criada uma camada com a localização dos 314 empregados (Figura 27) no Bairro de Jardim Camburi, representando a posição geográfica de suas respectivas residências. Assim feito, foi possível a visualização da distribuição espacial dos empregados na região delimitada para o estudo, assim como da distância entre os domicílios e os pontos de embarque/desembarque que serão atendidos pelo sistema de transporte da empresa.

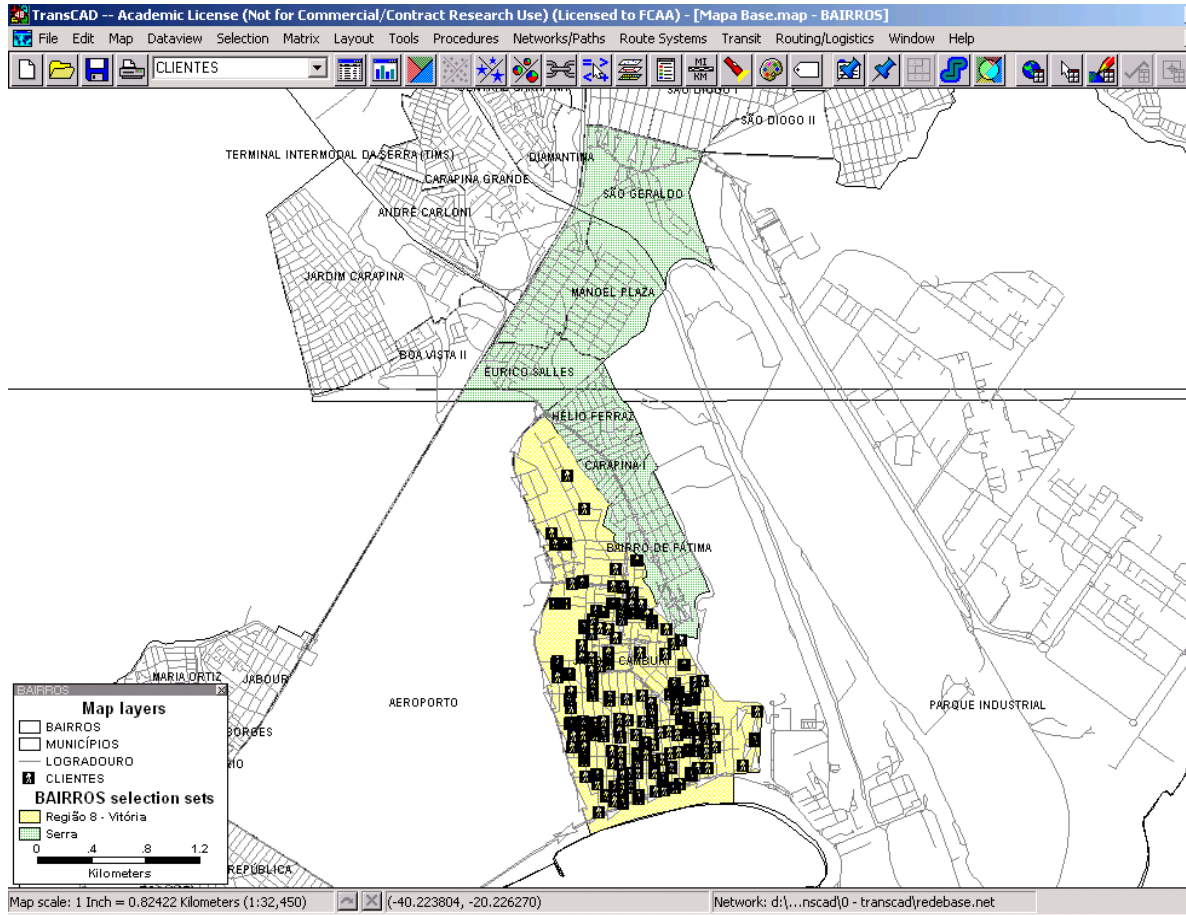


Figura 27 – Camada com a localização dos empregados

Veículos Disponíveis para Transporte dos Empregados

Como já foi dito, neste estudo está sendo considerado uma quantidade de veículos suficientes para atendimento de toda demanda de transporte na região delimitada para estudo, buscando maximizar a taxa de ocupação dos veículos.

A Tabela 12 apresenta os veículos utilizados no cálculo das rotas e suas características.

Tabela 12 – Tipos e Características dos Veículos

Tipo	Chassi		Carroceria		Capacidade
	Marca	Modelo	Marca	Modelo	
1	Volkswagen	17-230	Marcopolo	Torino	45
2	Volkswagen	15-180	Mascarello	Grand Midi	45
3	Volkswagen	17-210	Comil	Svelto	44
4	Volkswagen	17-210	Marcopolo	Torino	43

Fonte: Viação Satélite (2011).

4.3.2 Criação da Matriz de Roteirização para Solução do Problema

A criação da matriz de roteirização é a etapa seguinte a criação da rede de transportes e dos arquivos geográficos de pontos. Foi utilizado o procedimento *Vehicle Routing Matrix* para criar a matriz de distâncias a ser utilizada no procedimento de roteirização. Esta matriz contém as distâncias entre todos os pontos de paradas relacionados por seus respectivos *ID's*.

A Figura 28 mostra a janela para iniciar o procedimento de criação da matriz. Foi realizada a seleção do modo de operação pretendido (*Pickup*) e também a indicação do tempo máximo de duração da rota (1h). Além disto, foi indicada a não obrigatoriedade de retorno dos veículos a base (ponto de partida) e a otimização da rota, por distância.

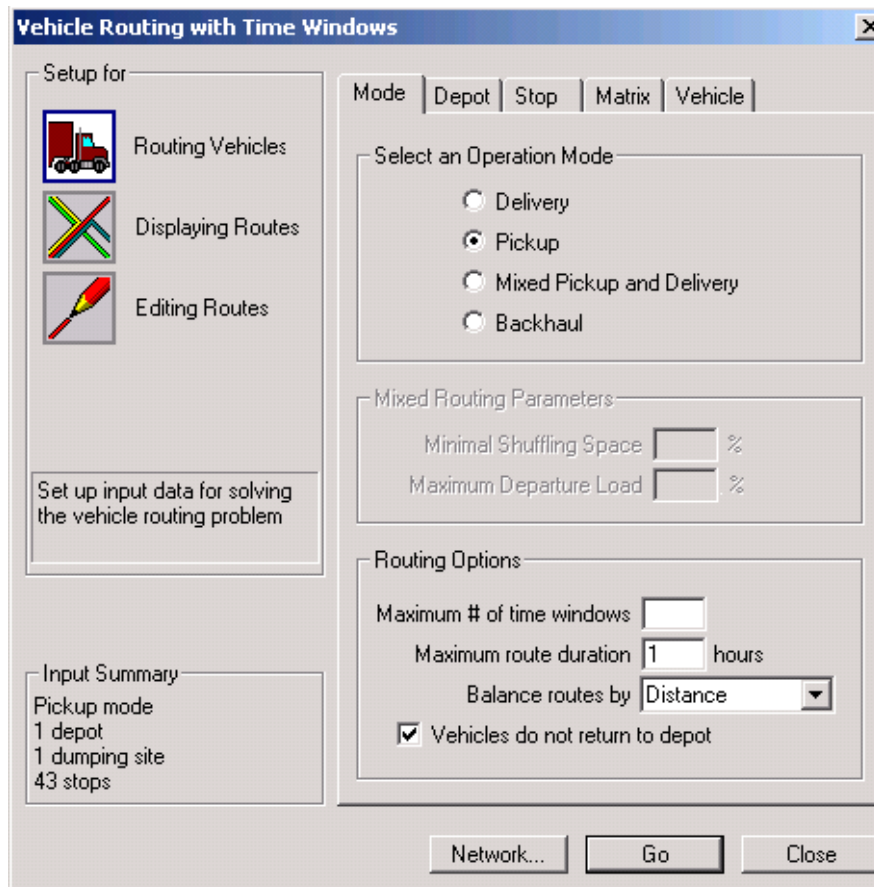


Figura 28 – Janela de seleção do modo de operação

Pode-se notar no *input summary* da janela de acima que existem 45 pontos selecionados, sendo: 1 *depot* representando a base de partida, 1 *dumping site* representando o ponto final (rodoviária) e 43 *stops* representando os pontos de parada para embarque e desembarque. A diferença de 14 pontos entre os selecionados (45) e o número total representado na camada de pontos de parada (59) são aqueles que não possuem demanda. Desta forma, estes pontos não serão considerados nas visitas dos veículos.

As parametrizações da base (*Depot*) são mostradas na Figura 29. Foi selecionada a *dataview* (pontos de parada) que servirá de para criação da matriz de distâncias, assim como a indicação do ponto inicial e ponto final que deve ser considerado na construção da rota. Além disto, foram preenchidos os campos com a indicação do endereço (*ID*), referência do nó (*Node ID*), nome (*Name*) e horários de atendimento (*Open e Close Time*) dos pontos de parada que representam as bases (ponto de partida).

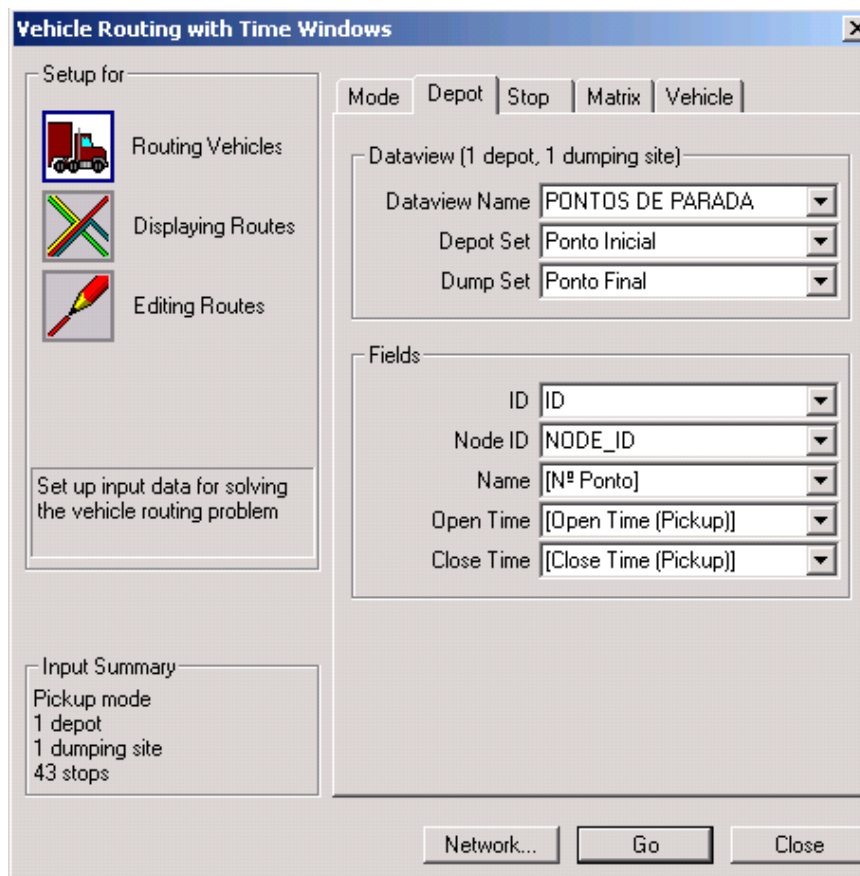


Figura 29 – Janela de parametrização da base

Em seguida foram feitas as parametrizações das paradas (*Stop*), onde também foi indicado o *dataview* a ser considerado na criação da matriz de distância (pontos de parada). Também foi feita a seleção dos pontos de parada a serem considerados na criação da matriz (*Selection set*), ou seja, todos aqueles que possuem demanda.

Além disto, foram preenchidos os campos com a indicação do endereço (*ID*), referência do nó (*Node ID*), nome (*Name*) e horários de atendimento (*Open e Close Time*) dos pontos de parada para embarque.

Para finalizar a parametrização das paradas, foi considerado 1 minuto por parada do veículo (*Fixed Time*) e 9 segundos por embarque de cada empregado (*Unit Time*). A Figura 30 mostra a parametrização dos pontos de parada.

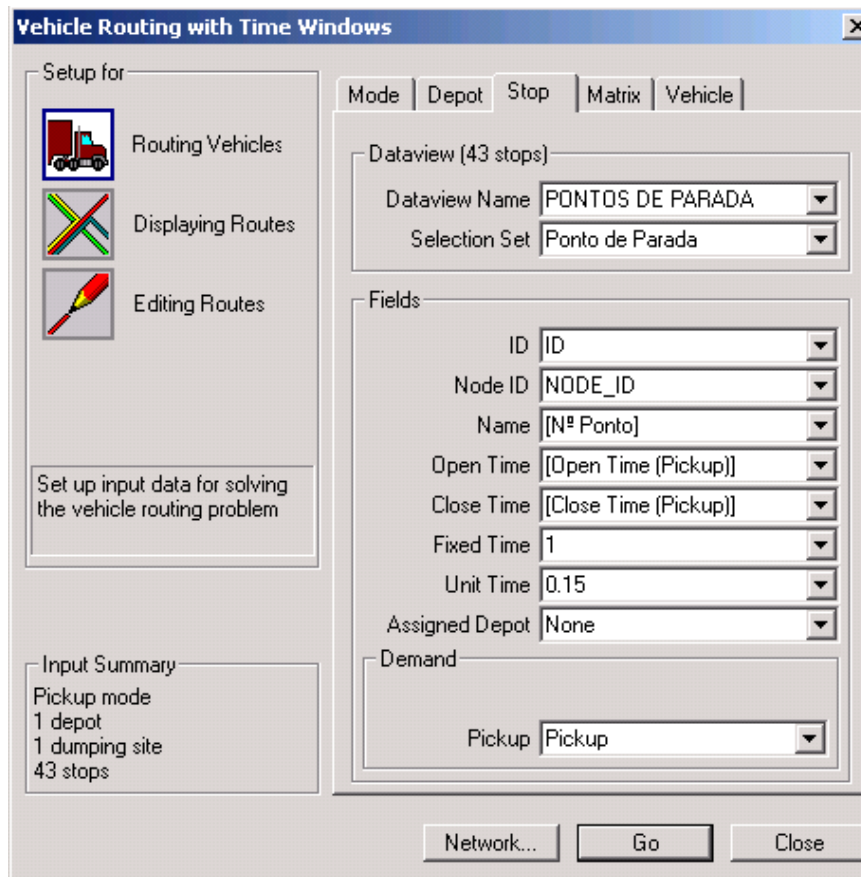


Figura 30 – Janela de parametrização dos pontos de paradas

Após o preenchimento dos campos relativos ao modo de operação (*Mode*), base (*Depot*) e Paradas (*Stop*), criou-se a matriz de roteirização com a utilização da janela mostrada na Figura 31. Neste caso, a matriz foi criada tendo como método a rede de transporte criada para este fim anteriormente, e como referência a minimização das distâncias entre todos os pontos de parada selecionados (partida, parada e ponto final).

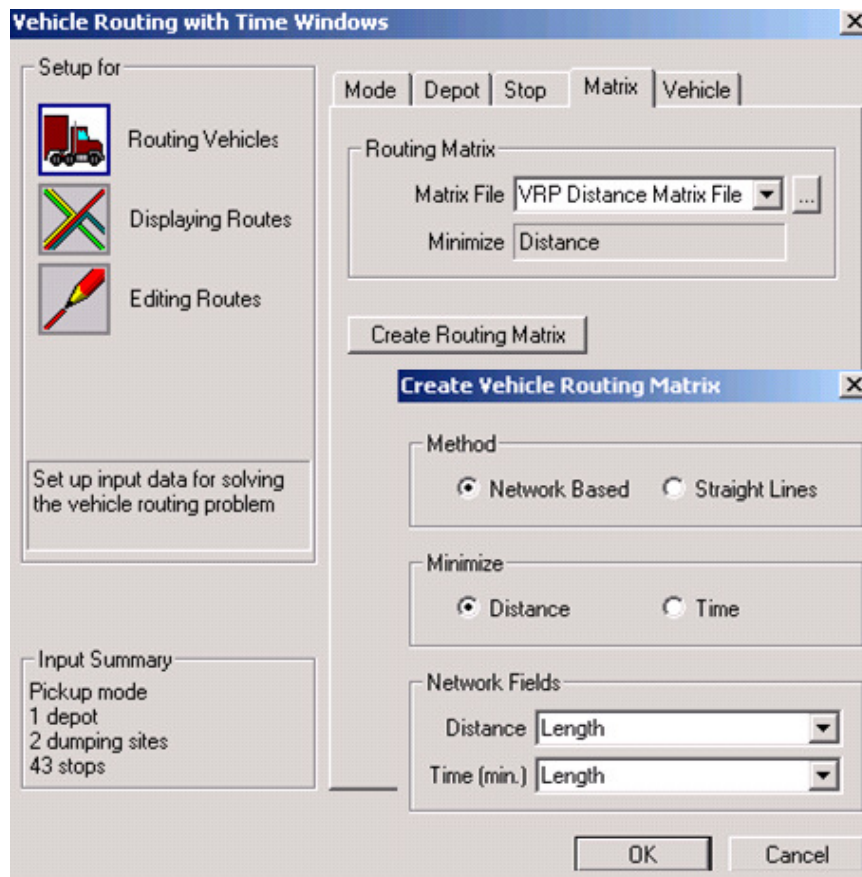


Figura 31 – Janela de criação da matriz de roteirização

A matriz gerada no procedimento de roteirização do TransCAD, tendo como base de dados o *dataview* pontos de parada é mostrada na Figura 32. Nota-se que a distância mínima entre o ponto de partida dos veículos selecionado na região delimitada para o estudo (*Node ID 88250*) e o ponto final – rodoviária (*Node ID 93013*), na empresa objeto deste estudo é de 7,64km.

	88916	88997	89073	89169	89175	89178	89250	89331	89347	89358	89430	93013
88156	0.33	0.72	1.22	0.89	1.11	0.93	1.03	1.56	1.25	1.71	2.08	6.94
88250	1.71	1.30	2.26	2.22	2.00	1.72	1.95	2.74	2.59	2.83	3.21	7.64
88251	1.65	1.34	2.30	2.21	2.05	1.76	1.99	2.79	2.57	2.87	3.25	7.69
88326	1.00	0.71	1.74	1.55	1.48	1.20	1.43	2.22	1.92	2.35	2.72	7.20
88427	0.92	0.97	1.73	1.48	1.47	1.19	1.42	2.15	1.84	2.30	2.68	7.48
88457	1.13	0.84	1.82	1.69	1.57	1.28	1.51	2.35	2.05	2.44	2.81	7.29
88473	0.75	1.14	1.64	1.31	1.52	1.35	1.45	1.97	1.67	2.13	2.50	7.31
88474	1.19	0.90	1.87	1.75	1.61	1.33	1.56	2.39	2.11	2.48	2.86	7.33
88505	0.63	1.02	1.51	1.18	1.40	1.23	1.33	1.85	1.55	2.00	2.38	7.21
88506	0.91	1.21	1.80	1.47	1.69	1.42	1.61	2.14	1.83	2.29	2.67	7.52
88538	1.46	1.16	2.12	2.02	1.86	1.58	1.81	2.60	2.38	2.69	3.06	7.50
88551	0.94	0.82	1.75	1.50	1.49	1.21	1.44	2.17	1.86	2.32	2.70	7.49
88569	0.77	0.31	1.25	1.21	0.99	0.71	0.94	1.77	1.58	1.86	2.24	6.71
88580	0.86	0.45	1.41	1.36	1.15	0.87	1.10	1.93	1.73	2.02	2.40	6.87
88621	0.56	0.69	1.45	1.12	1.19	0.91	1.14	1.79	1.48	1.94	2.31	7.17
88635	0.43	0.48	1.24	0.99	0.98	0.70	0.93	1.66	1.35	1.81	2.19	6.99
88652	1.04	0.72	1.68	1.60	1.42	1.14	1.37	2.20	1.96	2.29	2.67	7.14
88655	0.90	0.61	1.64	1.46	1.38	1.10	1.33	2.13	1.82	2.26	2.63	7.11
88662	0.77	0.36	1.33	1.28	1.07	0.79	1.02	1.85	1.65	1.94	2.32	6.79
88690	0.23	0.58	0.76	0.43	0.65	0.47	0.58	1.11	0.80	1.26	1.64	6.49
88743	0.30	0.25	0.98	0.85	0.72	0.44	0.67	1.53	1.22	1.63	2.01	6.73
88788	0.30	0.50	0.82	0.49	0.70	0.42	0.63	1.17	0.86	1.32	1.69	6.55
88843	0.93	0.50	0.94	0.96	0.71	0.49	0.69	1.42	1.27	1.51	1.88	6.32
88855	0.05	0.50	0.94	0.61	0.83	0.65	0.76	1.28	0.97	1.43	1.81	6.66
88861	0.52	0.08	1.19	1.07	0.93	0.65	0.88	1.74	1.44	1.84	2.22	6.88
88885	0.48	0.82	0.51	0.19	0.40	0.35	0.33	0.86	0.56	1.01	1.39	6.24
88914	1.51	1.10	2.06	2.02	1.80	1.52	1.75	2.54	2.39	2.63	3.01	7.45
88916	0.00	0.55	0.99	0.66	0.88	0.71	0.81	1.23	0.92	1.38	1.76	6.61
88997	0.77	0.00	1.34	1.29	1.08	0.79	1.03	1.86	1.66	1.95	2.32	6.80
89073	0.99	1.04	0.00	0.33	0.38	0.54	0.31	0.61	0.34	0.70	1.07	5.89
89169	0.66	0.99	0.33	0.00	0.34	0.50	0.27	0.68	0.37	0.83	1.21	6.06
89175	1.00	0.92	0.26	0.34	0.00	0.42	0.19	0.82	0.58	0.91	1.29	6.01
89178	0.79	0.70	0.54	0.50	0.28	0.00	0.23	1.10	0.87	1.19	1.57	6.29
89250	0.81	0.72	0.31	0.27	0.07	0.23	0.00	0.89	0.64	0.98	1.36	6.08

Figura 32 – Matriz de roteirização

Após finalizar o procedimento de criação da matriz de roteirização, o TransCAD gera um arquivo texto (Figura 33) com o relatório resumo de sua criação. Este relatório mostra as informações de entrada (*Input*) utilizadas, como por exemplo, o método utilizado para criação da matriz (baseado em rede) e o critério de minimização (distância), dentre outros.

```

Procedure Vehicle Routing Matrix on November 12, 2011 (12:32 PM)

Model                : Vehicle Routing Matrix File

***** INPUT *****

Method              : Network based
Minimizing          : Distance

Network File        : D:\Modelagem TransCAD\0 - TransCAD\REDEBASE.net
Distance Field      : Length
Time Field          : Length

Depot View          : PONTOS DE PARADA
Depot Selection     : depots + dump sites (#depots = 2)
Node ID Field       : NODE_ID

Stop View           : PONTOS DE PARADA
Stop Selection      : Ponto (#stops = 43)
Node ID Field       : NODE_ID

***** OUTPUT *****

VRP Matrix File: D:\Modelagem TransCAD\0 - TransCAD\MATRIZ_CENÁRIO BASE.mtx
Vehicle Routing Matrix in file D:\Modelagem TransCAD\0 -
TransCAD\MATRIZ_CENÁRIO BASE.mtx. 00:00:00.578.

```

Figura 33 – Relatório de criação da matriz do modo de operação *pickup*

Após criação da matriz de distâncias foi feita a parametrização dos tipos de veículos e respectivas capacidades para utilização no procedimento de roteirização. A Figura 34 mostra a janela para criação e edição da tabela de veículos. Foi parametrizado como *Depot ID* o ponto de partida do veículo (Base) cujo *ID* é 11. Além disto, foi indicado o tipo de veículo (1), capacidade (45), o número de veículos utilizados (7) e o custo operacional hipotético de cada um deles.

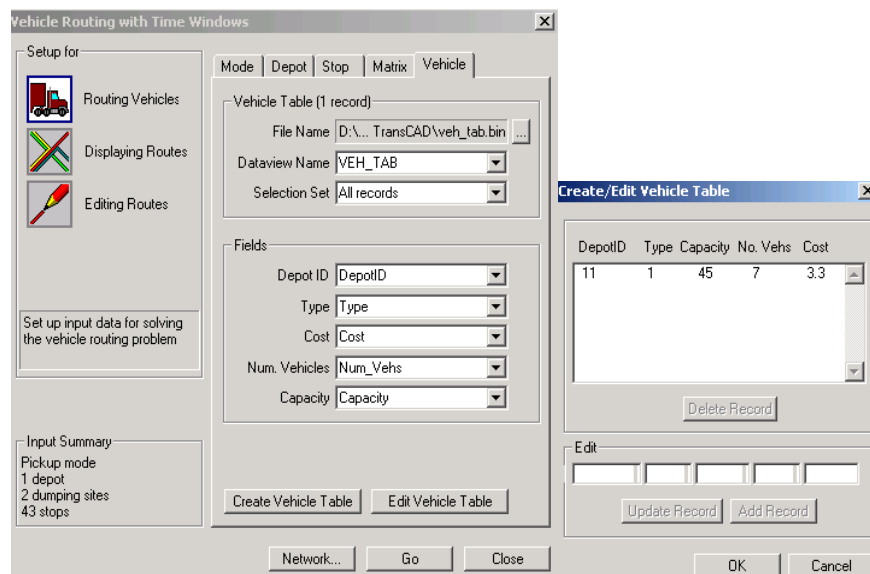


Figura 34 – Janela com a tabela de criação e edição de veículos

4.3.3 Resolução do Problema de Transporte dos Empregados

Na etapa de resolução do problema de roteirização de veículo, foi utilizada a rotina *Vehicle Routing* para criar rotas otimizadas para os veículos. Nesta rotina foram utilizadas as janelas de tempo para atendimento da base e dos empregados. Além disto, foram introduzidas as restrições de tempo de rota, tempo fixo de parada e tempo por empregado embarcado. Desta forma, as rotas que são geradas asseguram que as paradas acontecem apenas durante a janela de tempo disponível e que os itinerários gerados incluam informações sobre os tempos de paradas.

Para a roteirização de veículos, o aplicativo computacional utiliza uma heurística que tem como objetivo minimizar a distância total percorrida por todos os veículos e indiretamente minimizar o número de veículos necessários para servir todas as paradas. O TransCAD utiliza para solucionar o problema a abordagem de agrupar demandas primeiro e criar rotas depois ("*cluster first route second*").

Segundo Rosa (1996), a abordagem "agrupar demandas primeiro e criar rotas depois" cria inicialmente agrupamentos de nós, com o objetivo de respeitar o carregamento máximo do veículo padrão da frota. O número de agrupamentos é igual ao número de veículos que a frota tem. Uma vez criados os agrupamentos, usa-se uma heurística para resolver o Problema de Coleta e Entrega, a fim de encontrar a melhor rota entre os nós de cada agrupamento.

Dentre os quatro modos de operação encontrados na rotina *Vehicle Routing with Time Windows* foi utilizado na solução do problema os modos *Pickup* para as operações de coleta e *Delivery* para as operações de entrega.

4.3.4 Apresentação dos Resultados da Roteirização

O *software* TransCAD gera 3 (três) arquivos de saída, à saber:

- Um arquivo texto contendo o itinerário de cada veículo no modo de operação *pickup* (ANEXO A) e Modo de Operação *Delivery* (ANEXO D);

- Um outro arquivo texto contendo o relatório resumo de todas os dados de entrada (*input*) e saída (*output*) dos modos de operação *pickup* (ANEXO B) e modo de operação *delivery* (ANEXO E), utilizados no procedimento de roteirização;
- uma tabela de rotas com a relação das paradas de cada rota no modo de operação *pickup* (ANEXO C) e no modo de operação *delivery* (ANEXO F).

Caso a matriz de roteirização tenha sido criada a partir da rede de trabalho, as rotas obtidas podem ser convertidas dentro de um sistema de rotas. Essa conversão possibilita exibir as rotas em um mapa, editá-las, ou fazer análise espacial. Para criar um sistema de rotas, devem-se fornecer as seguintes informações:

- O nome da tabela de rotas que foi obtida na roteirização dos veículos;
- A camada de linha, rede e configurações que foram usadas para criar a matriz de roteirização.

A seguir serão apresentados a título de exemplo, os arquivos texto e gráfico da rota 1, gerados a partir do procedimento de roteirização no modo de operação de entrega (*Delivery*).

Modo de Operação de Entrega (*Delivery*)

O Relatório Resumo da Roteirização (Figura 35) apresenta todos os dados e informações utilizados para execução do procedimento de roteirização, bem como seus resultados, tais como:

- *Total Time*: tempo total gasto na operação de coleta dos empregados;
- *Total Travel Time*: tempo total gasto somente nos deslocamentos dos veículos;
- *Total Service Time*: tempo total gasto somente nas paradas para embarque e desembarque dos empregados;
- *Total Distance*: distância total percorrida pela frota de veículos;
- *Number of Routes*: número de rotas geradas;

- Total Stop Visited: número de pontos de parada visitados;
- Total Demand Serviced: número de empregados atendidos;
- Vehicle Utility: taxa de utilização dos veículos.

```

Procedure Vehicle Routing with Time Windows on November 12, 2011 (03:23 PM)
***** INPUT *****

Operation: Delivery
Minimizing: Distance
Matrix File: D:\Modelagem TransCAD\0 - TransCAD\MATRIZ_DELIVERY_CENÁRIO
BASE.mtx
Stop View: PONTOS DE PARADA
Stop Selection: Ponto (44)
Total Demand: 314.0
Stop ID Field: ID
Stop Demand Field: Delivery
Stop Open Time: [Open Time (Delivery)]
Stop Close Time: [Close Time (Delivery)]
Fixed Service Time: 1 min.
Time Per Unit: 0 min.
Stop Name Field: [N° Ponto]

Vehicle Table: VEÍCULOS CENÁRIO BASE
Total Veh. Capacity: 315.0

Route Duration Limit : 1:00

***** OUTPUT *****

Tour Table: D:\Dados\vrptw_rt.bin
Itinerary Report: D:\Dados\vrptw_it.txt
Total Time: 2:31 (151.3 min.)
Total Travel Time: 1:00 (60.2 min.)
Total Wait: 0:00 (0.0 min.)
Total Service Time: 1:31 (91.1 min.)
Longest Route Time: 0:29 (29.2 min.)
Total Distance: 60.2
Number of Routes      : 7

Total Stops Visited  : 44
Total Demand Serviced: 314.0

Vehicle Utility: 99.7%
Total Running Time 00:00:00.046.

```

Figura 35 – Relatório resumo do modo de operação *delivery*

A Figura 36 apresenta o relatório gerado após o procedimento de roteirização no modo *delivery*, contendo os dados principais do itinerário da rota 1. Neste relatório estão contidas as informações do tipo e capacidade do veículo utilizado, o tempo total da rota, a distância total percorrida e a sequência de paradas com os respectivos nomes, horários, distâncias entre as mesmas e demanda atendida.

Estas informações também são apresentadas de forma detalhada pelo TransCAD, em forma de tabela, conforme mostrado na Tabela 13.

Itinerary Report				
Route # : 1		Tot Time: 0:29		Capacity : 45.0
Veh. Type: 1		Tot Dist: 10.5		Depart Load: 45.0
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
	RODOVIÁRIA	5:20pm		
1	8005	5:29pm- 5:30pm	8.5	3.0
2	8006	5:30pm- 5:32pm	0.3	2.0
3	8001	5:32pm- 5:33pm	0.0	1.0
4	8000	5:33pm- 5:34pm	0.2	2.0
5	8008	5:35pm- 5:36pm	0.2	2.0
6	8009	5:36pm- 5:38pm	0.0	8.0
7	8011	5:38pm- 5:41pm	0.2	7.0
8	8010	5:41pm- 5:42pm		2.0
8	8051	5:42pm- 5:44pm	0.0	6.0
9	8053	5:44pm- 5:47pm	0.2	10.0
10	8052	5:47pm- 5:48pm	0.3	1.0
11	8050	5:48pm- 5:49pm		1.0
END				
Total			10.5	45.0

Figura 36 – Relatório de itinerário do modo de operação *delivery*

Tabela 13 - Tabela de Rotas do Modo de Operação *Delivery*

Route	Veh_ Type	Stop	Name	Node	Sequence	Open Time	Due Time	Arrival	Wait	Service Time	Departure	Travel Time	Distance	Tot_Dist_	Delivery	Tot_ Load	Stop Type	StopLa yID
1	1	59	RODOVIÁRIA	93013	0	1720	1820				1720			0		45	Depot	1
1	1	21	8005	88914	1	1720	1820	1729	0	1,45	1730	8,58701	8,587006	8,587006	3	42	Delivery	2
1	1	20	8006	88251	2	1720	1820	1730	0	1,3	1732	0,30788	0,307878	8,894884	2	40	Delivery	3
1	1	11	8001	88250	3	1720	1820	1732	0	1,15	1733	0,07513	0,075131	8,970015	1	39	Delivery	4
1	1	24	8000	88538	4	1720	1820	1733	0	1,3	1734	0,26297	0,262966	9,232981	2	37	Delivery	5
1	1	45	8008	88474	5	1720	1820	1735	0	1,3	1736	0,26941	0,269411	9,502392	2	35	Delivery	6
1	1	1	8009	88457	6	1720	1820	1736	0	2,2	1738	0,06065	0,060653	9,563044	8	27	Delivery	7
1	1	46	8011	88655	7	1720	1820	1738	0	2,05	1741	0,22934	0,229336	9,79238	7	20	Delivery	8
1	1	52	8010	88655	7	1720	1820	1741	0	1,3	1742	0	0	9,79238	2	18	Delivery	9
1	1	2	8051	88326	8	1720	1820	1742	0	1,9	1744	0,09336	0,093361	9,885741	6	12	Delivery	10
1	1	39	8053	88551	9	1720	1820	1744	0	2,5	1747	0,26603	0,266034	10,15177	10	2	Delivery	11
1	1	36	8052	88506	10	1720	1820	1747	0	1,15	1748	0,31449	0,314492	10,46627	1	1	Delivery	12
1	1	3	8050	88506	10	1720	1820	1748	0	1,15	1749	0	0	10,46627	1	0	Delivery	13

Após a apresentação dos arquivos texto e tabela com os detalhes do procedimento de roteirização do modo *delivery*, foi utilizada a ferramenta de geração gráfica de rota disponibilizada pelo TransCAD. Neste procedimento, deve ser informado a mesma matriz que foi utilizada para a geração do procedimento de roteirização. Além disso, foi colocado um pênalti para impedir que determinado ponto de parada obrigue o veículo a retornar de ré. As 7 (sete) rotas geradas no procedimento de roteirização da operação de entrega (*delivery*) dos empregados estão apresentadas na Figura 37.

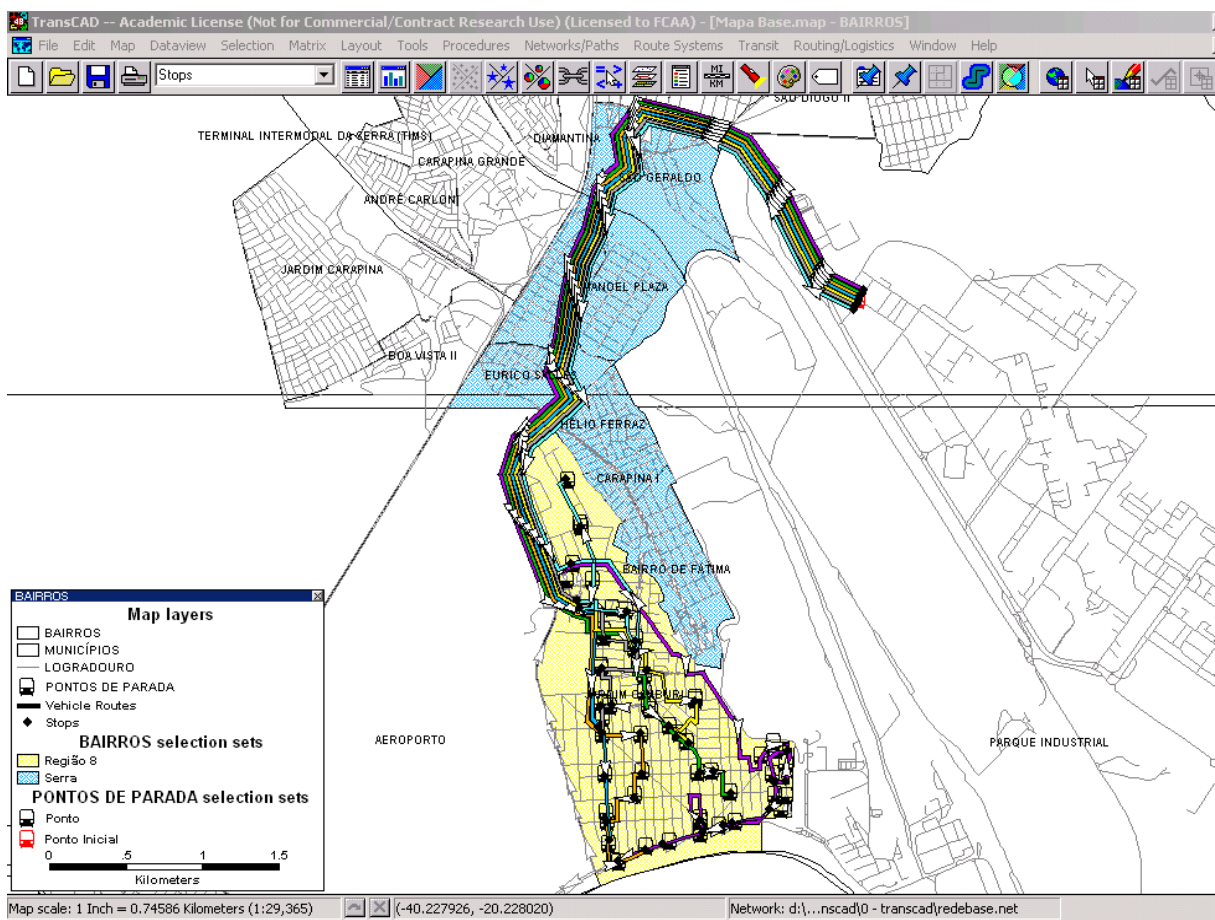


Figura 37 – Mapa das rotas do modo de operação *delivery*

4.4 TESTES DE CENÁRIOS

O Cenário Base, até aqui apresentado, buscou reproduzir uma situação similar ao padrão atual de coleta e entrega de empregados, exceto pelo fato de atender a toda demanda dos empregados residentes na região delimitada, o Bairro de Jardim Camburi. Já os três outros cenários apresentados a seguir, buscam introduzir condicionantes com o intuito de identificar o cenário que apresenta os melhores resultados em termos de distâncias percorridas, tempos de viagem e custos operacionais. A descrição de cada cenário é apresentada abaixo:

- Cenário 1: introduz o retorno obrigatório dos veículos à base nas operações de coleta e entrega dos empregados, mantendo todos os parâmetros de tempo e capacidade dos veículos utilizados no Cenário Base;
- Cenário 2: introduz a utilização de bases múltiplas na operação de coleta de empregados, sem a necessidade de retorno dos veículos às bases. Também mantém todos os parâmetros de tempo e capacidade dos veículos utilizados no Cenário Base;
- Cenário 3: introduz a utilização de bases múltiplas na operação de coleta de empregados, com a necessidade de retorno dos veículos às bases. Também mantém todos os parâmetros de tempo e capacidade dos veículos utilizados no Cenário Base.

As características principais de cada cenário são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 – Características dos Cenários de Testes

Cenário	Operação	Base	Empregados	Veículo			Janela de Atendimento		Restrições de Tempo		
				Tipo	Quant.	Capac.	Base	Empregado	Rota	Parada	Embarque/ Desembarque
Base	Coleta	Única sem retorno	314	1	7	45	07h00 às 08h00	07h00 às 08h00	1h	1 min.	9 s
	Entrega	Única sem retorno	314	1	7	45	17h20 às 18h20	17h20 às 18h20	1h	1 min.	9 s
1	Coleta	Única com retorno	314	1	7	45	07h00 às 08h00	07h00 às 08h00	1h	1 min.	9 s
	Entrega	Única com retorno	314	1	7	45	17h20 às 18h20	17h20 às 18h20	1h	1 min.	9 s
2	Coleta	Múltipla sem retorno	314	1	7	45	07h00 às 08h00	07h00 às 08h00	1h	1 min.	9 s
3	Coleta	Múltipla com Retorno	314	1	7	45	07h00 às 08h00	07h00 às 08h00	1h	1 min.	9 s

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar e analisar os resultados obtidos a partir das propostas de solução do problema de roteirização de veículos para cada um dos cenários de testes descritos no capítulo anterior.

5.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Para cada um dos 4 (quatro) cenários descritos no capítulo anterior foi executado o procedimento *Vehicle Routing* no TransCAD utilizando as opções de modo de operação *Pickup* e *Delivery*.

A Tabela 15 apresenta um resumo com os principais resultados do procedimento de roteirização dos 4 (quatro) cenários testados, que serão analisados na sequência.

Tabela 15 – Resultados dos Cenários de Testes

Cenário	Modo de Operação	Distância Percorrida (km)		Tempo de Viagem (h)			Custo Operacional (R\$)			Veículos		Empregados (nº)
		Rota	Total	Tempo de Deslocamento	Tempo de Parada	Total	Rota	Total	Tipo	Quant. (nº)	Utilização (%)	
Base	Coleta	8,99	62,9	1h03min.	1h31min.	2h34min.	29,38	205,68	1	7	99,7	314
	Entrega	8,6	60,2	1h00min.	1h31min.	2h31min.	28,12	196,85	1	7	99,7	314
1	Coleta	17,91	125,4	2h05min.	1h31min.	3h36min.	58,58	410,05	1	7	99,7	314
	Entrega	15,89	111,2	1h51min.	1h31min.	3h22min.	51,95	363,62	1	7	99,7	314
2	Coleta	8,26	57,8	0h58min.	1h31min.	2h29min.	27,00	189,0	1	7	99,7	314
3	Coleta	16,54	115,8	1h56min.	1h31min.	3h27min.	54,09	378,66	1	7	99,7	314

5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com base na Tabela 15 apresentada anteriormente, serão descritas as análises mais relevantes de cada cenário, focando suas principais variáveis: distâncias percorridas, tempos de viagem e custo operacional.

5.2.1 Cenário Base

Para o Cenário Base foram utilizados 7 (sete) veículos do tipo 1 com capacidade de 45 passageiros sentados, o que permitiu atingir o percentual de utilização de 99,7% nos modos de operação de coleta e entrega e, assim, atender aos 314 empregados residentes na área delimitada do estudo.

O Cenário Base apresentou uma distância total percorrida pela frota de 7 (sete) veículos no modo de operação de coleta de 62,9km e de 60,2km no modo de operação de entrega. Em média, a distância percorrida por cada veículo foi de 8,99 km no modo de operação de coleta e 8,60km no modo de operação de entrega. Esta diferença de distância entre os modos de operação é explicada pelas características físicas das vias utilizadas, por exemplo, o traçado das vias.

O tempo total de viagem para o transporte dos 314 empregados neste cenário foi de 2h34min. na operação de coleta e 2h31min. na operação de entrega. Portanto, o tempo médio de viagem por rota foi de 22 minutos para a operação de coleta e 21 minutos e 34 segundos para a operação de entrega.

Ao analisar o tempo de deslocamento (somente a parcela do tempo de viagem que o veículo se movimentou), verifica-se uma pequena diferença entre a operação de coleta (1h03min.) e a de entrega (1h00min.). Portanto, os empregados gastam com deslocamento em média 9 (nove) minutos nas viagens de ida ao trabalho e 8 minutos e 34 segundos nas viagens de retorno do trabalho. Esta diferença de tempo está diretamente ligada as distâncias percorridas pelos veículos.

Para o tempo de parada, aquele que engloba o tempo de parada do veículo e o tempo de embarque e desembarque do empregado, foi verificado que não existe diferença entre os modos de operação de coleta e entrega, 01h31min. para ambos, ou seja, em média cada rota gasta 13 minutos com paradas. Este tempo independe das distância percorrida, sendo influenciado somente pelo número de paradas e empregados embarcados ou desembarcados em cada rota.

Ao se associar o tempo médio com a distância média percorrida, pode-se calcular a velocidade média da frota de veículos empregados na roteirização. Por exemplo, ao considerar a operação de coleta, cujos veículos percorrem em média 8,99km e gastam em média 9 minutos com deslocamento, tem-se uma velocidade média de 59,93km/h. Porém, quando se adiciona o tempo médio de paradas (13 minutos) ao tempo médio de deslocamento (9 minutos), a velocidade é reduzida para 24,52 km/h. Esta é a velocidade média de cada veículo na operação de coleta dos empregados que corresponde ao tempo médio de viagem de 22 minutos que cada empregado gasta nas viagens de ida ao trabalho.

Cabe ressaltar que o tempo de viagem gerado na resolução do problema não levou em consideração as variações nas condições de tráfego, nem a temporização dos semáforos das vias, o que poderia alterar significativamente a velocidade média e tempo de deslocamento dos veículos. Com o intuito de verificar a variação no tempo de viagem em função da variação da velocidade média dos veículos, foram feitos ajustes, conforme mostrado na Tabela 16.

Tabela 16 – Tempo de Viagem do Cenário Base Ajustado

Modo de Operação	Distância Média Percorrida (km)	Velocidade Média (km/h)	Tempo de Viagem Médio (minutos)	Velocidade Média Ajustada (km/h)	Tempo de Viagem Médio Ajustado (minutos)
Coleta	8,99	24,52	22,0	10	54,34
				20	27,37
				30	18,38
				40	13,49
				50	11,19
				60	9,39
Entrega	8,6	24,18	21,34	10	52,0
				20	26,2
				30	17,2
				40	13,30
				50	10,32
				60	9,0

Sabe-se que a velocidade média varia em cada trecho da rota. Nos trechos utilizados pelas rotas geradas na região delimitada para este estudo, a velocidade média nos horários de pico, fica em torno de 20km/h, já contabilizado o tempo de semáforos. Portanto, o tempo médio de viagem ajustado (Tabela 16) de cada rota seria de 27 minutos e 37 segundos nas viagens de ida ao trabalho e 26 minutos e 20 segundos nas viagens de volta do trabalho.

Em relação ao custo operacional total da frota de 7 (sete) veículos utilizados para o transporte dos 314 empregados, na operação de coleta foi de R\$205,68 e operação de entrega foi de R\$196,85, considerando que o custo operacional por quilômetro rodado é de R\$3,27. Portanto, cada veículo tem um custo operacional médio de R\$29,38 na operação de coleta e R\$28,12 na operação de entrega dos empregados.

Assim sendo, os custos operacionais diários da frota de 7 (sete) veículos utilizados para o transporte de ida e volta ao trabalho dos 314 empregados da área delimitada pelo estudo é de R\$402,53. Mensalmente, considerando 21 dias úteis, os custos são de R\$8.453,13. Anualmente, os custos operacionais são de R\$101.437,56.

5.2.2 Cenário 1

O Cenário 1 reproduziu as operações de coleta e entrega de empregados com os mesmos parâmetros do Cenário Base, exceto pela obrigatoriedade de retorno dos veículos à base. Portanto, permanece a utilização da frota de 7 (sete) veículos do tipo 1 com capacidade de 45 passageiros sentados, cujo percentual de utilização foi de 99,7% em ambos modos de operação, para atender aos 314 empregados.

Em relação às distâncias percorridas pela frota de 7 (sete) veículos, houve aumento em relação ao Cenário Base. Na operação de coleta a distância total percorrida foi de 125,4km, com média de 17,91km por veículo, enquanto que para a operação de entrega a distância total percorrida foi de 111,2km, com média de 15,89km por veículo. Ambas foram influenciadas diretamente pela obrigatoriedade de retorno dos veículos à base.

Também houve um aumento nos tempos de deslocamento para ambos os modos de operação em relação ao Cenário Base, 02h05min. e 01h51min., respectivamente. Assim sendo, cada veículo passou a ter um tempo médio de deslocamento de 17 minutos e 51 segundos para a operação de coleta e 15 minutos e 51 segundos para a operação de entrega. Conseqüentemente, houve um aumento do tempo total de viagem das operações de coleta e entrega dos empregados, 3h36min. e 3h22min., respectivamente. Estes tempos maiores, média de 30 minutos e 51 segundos para a operação de coleta e 28 minutos e 51 segundos para a operação de entrega são explicados pela obrigatoriedade de retorno dos veículos à base.

Em relação ao tempo de parada, não houve qualquer alteração em relação ao Cenário Base, mantendo-se em 01h31min., média de 13 minutos para ambas as operações, explicado pela inexistência de paradas para embarque ou desembarque dos empregados no retorno dos veículos à base.

Nos custos operacionais, que são diretamente relacionados as distâncias percorridas pelos veículos, também houve aumento devido a obrigatoriedade de retorno dos veículos à base. O custo operacional total na operação de coleta ficou em R\$410,05, média de R\$58,58 por veículo, e da operação de entrega em

R\$ 363,62, média de R\$51,95 por veículo. Portanto, o custo operacional diário para o transporte dos 314 empregados nas viagens de ida e volta ao trabalho foi de R\$ 773,67. Mensalmente, o custo operacional foi de R\$16.247,07. Anualmente, o custo operacional foi de R\$194.964,80.

5.2.3 Cenário 2

No Cenário 2, foi testada a operação de coleta com múltiplas bases e sem obrigatoriedade de retorno dos veículos as mesmas. Esta condição se difere do Cenário Base em que os veículos partiam para a coleta dos empregados de uma única base.

Assim como nos cenários anteriores, permanece inalterada a taxa de utilização dos veículos (99,7%) e o número de empregados atendidos (314).

A distância total percorrida pela frota de 7 (sete) veículos foi de 57,8km, o que corresponde a uma média de 8,26km por veículo. Esta menor distância refletiu no menor custo operacional, que neste caso, foi de R\$189,00. Portanto, uma média de R\$27,00 por veículo. Isto faz, com que os custos operacionais mensais fossem de R\$3.969 e anuais de R\$47.628.

O tempo de deslocamento da frota de veículos na viagem de ida ao trabalho dos 314 empregados atendidos foi de 00h58min, o que corresponde a uma média de 8 minutos e 17 segundos por veículo. Este tempo de deslocamento somado ao tempo de parada, 1h31min., cuja média é de 13 minutos por veículo, totalizou um tempo total de viagem de 2h29min., equivalente a uma média de 21 minutos e 17 segundos por veículo.

5.2.4 Cenário 3

O Cenário 3 é idêntico ao Cenário 2, exceto pelo fato da obrigatoriedade de retorno dos veículos a suas respectivas bases. Permanece inalterada a taxa de utilização dos veículos (99,7%) e o número de empregados atendidos (314).

As distâncias totais percorridas pela frota de 7 (sete) veículos foi de 115,8km, cuja média é de 16,54km por veículo.

O tempo de deslocamento da frota de 7 (sete) veículos foi de 1h56min., que corresponde a uma média de 16 minutos e 34 segundos por veículo. O tempo de total de viagem foi de 3h27min., equivalente a média de 29 minutos e 34 segundos por veículo. Neste tempo já está incluído o tempo de parada, 1h31min., cuja média é de 13 minutos por veículo.

Os custos operacionais diários da operação de coleta de empregados foi de R\$ 378,66, portanto, uma média é de R\$54,09 por veículo. Desta forma, os custos mensais foram de R\$7.951,86 e os anuais de R\$95.422,32.

5.2.5 Análise Comparativa entre os Cenários Testados

Com base nos testes de cenários apresentados anteriormente, serão feitas análises comparativas entre os mesmos, baseadas nos resultados apresentados na Tabela 17.

Ao se comparar o Cenário 1, cujo retorno dos veículos a base é obrigatório, ao Cenário Base, onde não existe esta obrigatoriedade, observa-se o incremento das distâncias percorridas, tempos de viagem e custos operacionais do Cenário 1 em relação ao Cenário Base, em ambos os modos de operação, coleta e entrega. Estes incrementos são explicados pela maior distância percorrida pelos veículos para retorno a base, que implica em maiores tempos de viagem e custos operacionais.

Ao se analisar o motivo do incremento dos tempos de viagem do Cenário 1 em relação ao Cenário Base, observa-se que é consequência do maior tempo de deslocamento dos veículos pela obrigatoriedade de seu retorno à base. O tempo de parada permanece inalterado, já que não existe paradas no retorno dos veículos a base, pois, a operação de coleta de empregados (viagem de ida ao trabalho) já havia sido concluída.

Ao comparar as variáveis (distância percorrida, tempo de deslocamento e custo operacional) entre a operação de coleta e a operação de entrega no Cenário 1, observa-se que o incremento na operação de coleta é proporcional ao aumento das distâncias, ocasionada pelo retorno dos veículos à base. Porém, quando se compara estas mesmas variáveis na operação de entrega, verifica-se que os incrementos são menores que os observados na operação de coleta. A explicação é que no retorno dos veículos à base na operação de entrega, existem mais alternativas viárias, que permitem ao programa otimizar as rotas.

Na comparação entre o Cenário 2, que introduz a utilização de bases múltiplas na operação de coleta dos empregados (sem retorno dos veículos à base) com o Cenário base, que utiliza uma base única para esta mesma operação, demonstra-se que existe um decréscimo das distâncias percorridas, tempos de deslocamento e custos operacionais do Cenário 2 em relação ao Cenário Base. A explicação para o decréscimo das variáveis citadas está na distribuição geográfica dos veículos de forma a reduzir as distâncias dos mesmos até os pontos de partida a partir do qual se inicia a operação de coleta dos empregados em suas viagens de ida ao trabalho.

Na comparação do Cenário 3, cuja diferença para o cenário 2 é a obrigatoriedade de retorno dos veículos às suas respectivas bases, verificou-se, incremento proporcional de distâncias percorridas, tempos de deslocamento – refletindo no maior tempo de viagem, e custos operacionais.

Tabela 17 – Comparativo de Cenários

Modo de Operação	Cenário	Distância (km)		Tempo de Viagem (h)			Custo Operacional (R\$)	
		Rota	Total	Tempo de Deslocamento	Tempo de Parada	Total	Rota	Total
Coleta	Base	8,99	62,9	1h03min.	1h31min.	2h34min.	29,38	205,68
	1	17,91	125,4	2h05min.	1h31min.	3h36min.	58,58	410,05
	Diferença	8,92	62,5	1h02min.	0h00min.	1h02min.	29,2	204,37
Entrega	Base	8,6	60,2	1h00min.	1h31min.	2h31min.	28,12	196,85
	1	15,89	111,2	1h51min.	1h31min.	3h22min.	51,95	363,62
	Diferença	7,29	51,0	0h51min.	0h00min.	0h51min.	23,83	166,77
Coleta	Base	8,99	62,9	1h03min.	1h31min.	2h34min.	29,38	205,68
	2	8,26	57,8	0h58min.	1h31min.	2h29min.	27,0	189,0
	Diferença	0,73	5,1	0h05min.	0h00min.	0h05min.	2,38	16,68
Coleta	2	8,26	57,8	0h58min.	1h31min.	2h29min.	27,0	189,0
	3	16,54	115,8	1h56min.	1h31min.	3h27min.	54,09	378,66
	Diferença	8,28	58,0	0h58min.	0h00min.	0h58min.	27,09	189,66

Em relação ao tempo de parada, que considera o tempo de parada do veículo e o tempo de embarque e desembarque do empregado, não foi observada diferença entre os diversos cenários testados. A explicação está na atribuição de tempos fixos para cada parada de veículo (1 min.) e para cada embarque ou desembarque de empregado (9 segundos), cuja demanda, neste caso, também é fixa (314).

Não houve teste de diferentes tipos e capacidades de veículos para atender à demanda fixa de empregados na região delimitada pelo estudo. Portanto, não houve diferença na taxa de utilização dos veículos, que foi de 99,7% para todos cenários testados.

Considerando as análises comparativas entre cenários e seus respectivos modos de operação (coleta e entrega), os resultados indicam que a melhor alternativa para o transporte de empregados é a conjugação do Cenário 2 na operação de coleta (viagem de ida ao trabalho), aquela que adota múltiplas bases sem necessidade de retorno dos veículos às mesmas, com o Cenário Base, na operação de entrega (viagem de volta do trabalho), aquela que adota base única sem retorno dos veículos à mesma. Esta afirmação é corroborada pelas menores distâncias percorridas, menores tempos de viagem e menores custos operacionais dos veículos utilizados nestas operações.

Do ponto de vista operacional à adoção do Cenário 2 implica que, após o transporte dos empregados nas viagens de ida ao trabalho (operação de coleta), os veículos utilizados permaneçam em área geograficamente localizada dentro dos limites da empresa atendida ou próximo a esta, caso seja inviável por quaisquer motivos, como por exemplo, falta de área disponível. Desta forma, os veículos já estarão posicionados geograficamente próximos da base de partida para as viagens de volta do trabalho (operação de entrega), caracterizado pelo Cenário Base. Desta forma, contribuindo para a redução de custos operacionais com os deslocamentos dos veículos.

Da mesma forma, à adoção do Cenário Base implica que, após o transporte dos empregados nas viagens de retorno do trabalho (operação de entrega), os veículos utilizados permaneçam o mais próximo possível dos pontos de partida das viagens de ida para o trabalho (operação de coleta), caracterizado pelo cenário 2. Mais uma vez, com o objetivo de reduzir os custos operacionais dos veículos com seus deslocamentos. Portanto, a localização geográfica da área de permanência dos veículos, após o cumprimento de seus itinerários, é fator que contribui para a redução de custos operacionais com os deslocamentos dos veículos.

Cabe ressaltar que à adoção de base única na operação de entrega dos empregados (viagem de retorno do trabalho) é a única alternativa viável, posto que os empregados estão concentrados em uma única localização geográfica, neste caso, a empresa objeto deste estudo, de onde partem todos os veículos (rodoviária) em direção aos pontos de parada próximos das residências dos empregados.

Ressalta-se, que neste estudo não foi levado em consideração a localização das áreas de permanência da frota de veículos (garagem) e seus deslocamentos até os seus respectivos pontos de partida, em ambas as operações (coleta e entrega). Porém, como vimos anteriormente esta localização é estratégica para a redução de custos operacionais advindos de deslocamento dos veículos.

6 CONCLUSÕES

Esta dissertação teve como objetivo principal desenvolver um procedimento de coleta e entrega de empregados em seus deslocamentos urbanos de ida e volta do trabalho, em ônibus fretado, modelado como um problema de roteirização de veículos, utilizando uma ferramenta SIG-T.

Os resultados obtidos dos diversos cenários testados permitiu analisar os impactos na construção de rotas em termos de distâncias percorridas, tempos de viagem e custos operacionais. O cenário que se mostrou mais eficiente sob o aspecto econômico (distâncias percorridas e custos operacionais) e de nível de serviço (tempos de viagem) é aquele que adota múltiplas bases sem retorno na operação de coleta – viagem de ida ao trabalho (Cenário 2) e base única sem retorno na operação de entrega – viagem de volta do trabalho (Cenário Base).

O procedimento considerou o atendimento de 100% dos empregados (314) na região delimitada para o estudo (Bairro de Jardim Camburi) com a utilização de uma frota homogênea (capacidade de 45 passageiros sentados). Este fato resultou na geração de 7 (sete) rotas com uma taxa de utilização dos veículos de 99,7%. Porém, esta frota pode ainda ser mais otimizada com a identificação da real demanda de usuários do sistema de transporte, ou seja, daqueles que não utilizam outros meios de transporte para se deslocarem para o trabalho, como por exemplo, o automóvel.

Os tempos de viagem dos diversos cenários testados não apresentaram resultados superiores ao padrão adotado pela empresa objeto deste trabalho, ou seja, máximo de 1h de viagem. Porém, este problema pode se apresentar em locais geograficamente mais distantes da empresa, no caso de outros municípios da Região Metropolitana da Grande Vitória, por exemplo, Cariacica e Vila Velha, o que reforça a importância de um procedimento informatizado para apoio na construção de rotas.

A localização geográfica das áreas de permanência da frota de veículos, após o transporte dos empregados nas viagens de ida e volta do trabalho é fator que

contribui para a redução dos custos operacionais com deslocamentos dos veículos, na medida em que reduz as distâncias percorridas até os pontos de partida das viagens.

Apesar da ênfase deste estudo nos aspectos quantitativos advindos da aplicação do procedimento de roteirização, não se deve ignorar os aspectos qualitativos no planejamento e operação de sistemas de transporte, como por exemplo: visualização espacial dos diversos atributos (localização de demanda, pontos de parada e rotas) e flexibilidade para alteração de parâmetros (veículos, restrições de tempos, etc.), que permitem a realização de novas simulações.

Assim, pode-se afirmar que o Procedimento Proposto de Coleta e Entrega de Empregados apresentou-se como importante ferramenta para planejamento e operação de sistemas de transporte de empregados sob regime fretado na medida em que permite tornar suas operações mais eficientes sob os aspectos econômico e de nível de serviço.

Com base nos mesmos objetivos que nortearam a realização deste estudo é possível aplicar este procedimento a outros problemas de logística de distribuição física de pessoas, como por exemplo, transporte público urbano e interestadual.

Uma maior acurácia do procedimento de roteirização proposto neste estudo pode ser obtido com a inclusão da velocidade média e temporização semaforica da rede de transporte utilizada para a criação da matriz de roteirização. A dificuldade reside na obtenção destes dados e na modelagem da rede visando sua inclusão.

Como trabalho futuro, pode-se expandir o procedimento proposto de forma a abranger uma maior área geográfica da Região Metropolitana da Grande Vitória, os demais horários de trabalho e as demais linhas do sistema. Desta forma, o procedimento poderia se tornar mais robusto e apresentar melhores resultados no tocante a potenciais otimizações. Contudo, a falta de dados georreferenciados que contenham os sentidos de fluxo de vias são um grande desafio a ser superado, já que demanda muito esforço e tempo para sua concretização.

7 REFERÊNCIAS

- 1 ArcelorMittal Tubarão. Disponível em: <www.arcelormittal.com.br>. Acesso em: 15 jan. 2011.
- 2 AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Disponível em: <www.antt.gov.br>. Acesso em: 15 jan. 2011.
- 3 ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. 1997(a). **Transporte humano – cidades com qualidade de vida**. São Paulo, 1997. Cap. 1. p. 18-26: Desenvolvimento Urbano e Político de Transporte e Trânsito. Cap. 5. P. 99-132: Infraestrutura. Cap. 6. p. 133-212: Transporte Público.
- 4 ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. Disponível em: <www.antp.org.br>. Acesso em: 10 jan. 2011.
- 5 ANTENUCCI, J.C.; BROWN, K.; CROSWELL, P.L.; KEVANY, M.J.; ARCHER, H. 1991. **Geographic information systems: a guide to technology**. New York, Van Nostrand Reinhold. Chapman&Hall. 301 p.
- 6 ALVIM, B. G. **Análise estatística dos fatores sócio-econômicos e de mobilidade que atuam sobre a demanda por serviços de ônibus fretado no estado de São Paulo**. 1995. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 7 ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa operacional para os cursos de engenharia**, ed. Elsevier, 2007, 526 p.
- 8 BALLOU, R.H. Gerenciamento da **cadeia de suprimentos / logística empresarial**. Tradução Raul Rubenich, 5ª ed., Porto Alegre, ed. Bookman, 2006, 616 p.

- 9 Assad, A.A. 1988. **Modeling and implementation issues in vehicle routing.** In: **vehicle routing: methods and studies.** B.L.Golden, A.A.Assad (eds), North Holland, Amsterdam, p. 7-46.
- 10 BALASSIANO, B. 1997. **Planejamento estratégico de transportes considerando sistemas de média e baixa capacidade.** In: CONFRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES – ANPET. 11, Rio de Janeiro, 1997. Anais. v.1. p. 203-216.
- 11 BARROS, E. S. **O ônibus e o turismo: posicionamento do turismo rodoviário no Brasil na visão dos transportadores turísticos por fretamento da grande São Paulo.** 2002. Dissertação (Mestrado) - Escola de Comunicações e Artes da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- 12 BELFIORE, Patrícia Prado. **Scatter search para problemas de roteirização de veículos com frota heterogênea, janelas de tempo e entregas fracionadas.** 2006. 203 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- 13 BOAVENTURA NETTO, Paulo Oswaldo; JURKIEWICZ, Samuel. **Grafos: introdução e prática.** São Paulo: Editora Blucher, 2009. 170 p.
- 14 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.
- 15 Bodin, L.D. 1990. **Twenty years of routing and scheduling.** Operations research.v.38, n.4, p.571-579.
- 16 BRAVO, F.; CERDA, J. 1995. **Tecnologia SIG aplicada a sistemas de transportes.** In. VII Congresso Chileno de Ingeniería de Transporte. Santiago, Chile. Actas del séptimo congreso chileno de ingeniería de transporte, pp. 547–562.

- 17 BREJON, S. R. C; BELFIORE, P. P. 2006. **A importância do enfoque sistêmico para problemas de roteirização de veículos.** Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção n.5, p. 64 – 86, Jun 2006. São Paulo.
- 18 BRITO, R. A. F. **Uso de sistema de informação geográfica para a análise do transporte e disposição final dos resíduos sólidos.** 2006. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. FEIS – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, São Paulo.
- 19 CALIPER. **Routing and logistics with TransCAD, versão 4.8, transportation GIS software:** Caliper Corporation, 2011.
- 20 Calijuri, M.L.; RÖHM, S.A. 1993. **Sistemas de informações geográficas.** Universidade Federal de Viçosa – Imprensa universitária, Minas Gerais.
- 21 CÂMARA, Gilberto; CASANOVA, Marco A.; HEMERLY, Andrea S.; MAGALHÃES, Geovane. C.; MEDEIROS, Cláudia M. B. **Anatomia de sistemas de informações geográficas.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Divisão de Processamento de Imagens, São José dos Campos, São Paulo, 1996.
- 22 CAMPOS, V.B.G. **Método de alocação de fluxo no planejamento de transportes em situações de emergência: definição de rotas disjuntas.** 1997. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1997.
- 23 CARRARA, C. M. **Uma aplicação do SIG para a localização e alocação de terminais logísticos em áreas urbanas congestionadas.** 246p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Transportes), Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2007.

- 24 CARVALHO, C. A. B. **Procedimentos de otimização de desempenho do transporte coletivo por ônibus**. 1984. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- 25 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**. 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais.
- 26 COMPANHIA DE TRANSPORTES URBANOS DA GRANDE VITÓRIA. Disponível em: <www.ceturb.es.gov.br>. Acesso em: 10 jan. 2011.
- 27 CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Disponível em: <www.cnt.org.br>. Acesso em: 10 jan. 2011.
- 28 CUNHA, C. B. **Uma contribuição para o problema de roteirização de veículos com restrições operacionais**. 222p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Transportes), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- 29 CUNHA, C.B. 2000. **Aspectos práticos da aplicação de modelos de roteirização de veículos a problemas reais**. Revista Transportes da ANPET – Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, v.8, n.2, p.51-74, novembro/2000.
- 30 DANTAS, A. S.; TACO, P. W. G.; YAMASHITA, Y. **Sistemas de Informações Geográficas em Transporte. O Estudo da Arte**. In: In: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 10. 1996. Anais. Brasília, ANPET. v.1, p. 211-222.

- 31 DANTAS, A. S.; TACO, P. W. G.; BARTOLI, S. P.; YAMASHITA, Y. **Aplicação dos sistemas de informações geográficas em transportes sob o enfoque da análise espacial**. Proceedings of the IV Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, São Paulo, 1997 p. 469 – 477.
- 32 EMPRESA METROPOLITANA DE TRANSPORTE URBANO. **Curiosidades do trânsito e transporte**. 2003. Disponível em: <http://www.emtu.pe.gov.br/jornal/arquivos/Janeiro_fevereiro_2003/curiosidades.htm>. Acesso em: 5 jan. 2011.
- 33 EISELT, H.A.; GENDREAU, M.; LAPORTE, G. **Arc routing problems, Part I: The chinese postman problem**. Operations Research, v. 43, n.2, 1995.
- 34 FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. Disponível em: <www.sistemafindes.org.br>. Acesso em: 10 jan. 2011.
- 35 FERRARI, H. S. **Racionalização da operação numa empresa de transporte por fretamento**. 2001. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Estadual de São Paulo, São Carlos.
- 36 Ferrari, R. 1997. **Viagem ao SIG**. Curitiba, Sagres.
- 37 FEOFILLOF, P. **Exercícios de Teoria dos Grafos**. 2009. Disponível em: <<http://www.ime.usp.br/~pf/grafos-exercicios/texto/ETG.pdf>>. Acesso em: 26 mai. 2009.
- 38 FERRAZ, A. C. C. P.; TORRES, I. G. E. **Transporte público urbano**. São Carlos: Rima. 2001. 367 p.
- 39 FEDERAÇÃO DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE DE PASSAGEIROS POR FRETAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Disponível em: <www.fresp.org.br>. Acesso em: 15 jan. 2011.

- 40 GANHOTO, M.A. **Abordagens para problema de roteamento**. 2004. 109f. Dissertação (Mestrado em Computação) – Programa de Pós-Graduação em Computação, Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2004.
- 41 GOLDBARG, M.C., LUNA, H.R.L. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**, Rio de Janeiro: Campus, 2ª Ed., p. 396-477, 2005.
- 42 GOLDEN, B.; BALL, M.; BODIN, L. **Current and future research directions in network optimization**. Computers and Operations Research, v.8, n.2, p. 71-81, 1981.
- 43 GOODCHILD, M. F. **Spatial analysis and GIS**. National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara, 2001.
Disponível em: www.csiss.org/learning_resources/content/good_sa/. Acesso em: 17 janeiro 2011.
- 44 Hall, R.W.; J.G. Partyka (1997). **On the road to efficiency**. OR/MS Today, p.38-47, jun/97.
- 45 HEYWOOD, I., CORNELIUS, S., CARVER, S. **An introduction to geographical systems**, 2 edição, Inglaterra, ed. Prentice Hall, 2002, 293 p.
- 46 INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES. Disponível em: www.ijsn.es.gov.br. Acesso em: 23 nov. 2010.
- 47 INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Disponível em: www.ipea.gov.br. Acesso em: 10 jan. 2011.

- 48 JACINTO, Janine Pereira. **Proposta de uma metodologia para melhor aproveitamento da frota e da equipe de pessoal utilizadas na coleta de resíduos sólidos domiciliares**. 2009. 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Transportes) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.
- 49 JUNIOR, Archimedes Azevedo Raia. **Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais e sistemas de informações geográficas**. 2000. 196f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil - Transportes) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- 50 KAGAN, H.; ROSSETTO, C.F.; CUSTÓDIO, P.S.; MARTINS, W.C. **Uso de sistemas de informações geográficas no planejamento de transportes**. In: Congresso Nacional da ANPET, 6, Rio de Janeiro. Anais. São Paulo, Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes. v. II, p. 894 – 909. 1992.
- 51 KRALICH, S. 1992. **Autotransporte contratado de pasajeros em el gran Buenos Aires, alternativa o necesidad**. In: Anais VI ANPET. Rio de Janeiro, nov. 1992. v. 1, p. 272-285.
- 52 LACERDA, Márcio Gonçalves. **Análise de uso de SIG no sistema de coleta de resíduos sólidos domiciliares em uma cidade de pequeno porte**. 2003. 145 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Ênfase em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo, 2003.
- 53 LERNER, Jaime. **Avaliação comparativa das modalidades de transporte coletivo urbano**. Curitiba, Paraná, 2009.

- 54 LAPORTE, G., GENDREAU, M., POTVIN, J., SEMET, F. **Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem.** *International Transactions in Operational Research*. v. 7, n4/5, p. 285-300, 2000.
- 55 LEME, A. M. G.; MARQUES, A. C. P. M. **Transporte Fretado: uma alternativa de deslocamento na metrópole.** In: Anais do V ANPET. Belo Horizonte, out. 1991. p. 36-50.
- 56 LEWIS, S. 1990. **Use of geographical information systems in transportation modeling.** *ITE Journal*, Março 1990, pp. 34-38.
- 57 LIMA, A. **Transporte de passageiros por fretamento de ônibus e terminais de passageiros.** *Revista dos Transportes públicos*, ano 24, n. 93, p. 27-32, 4º trim. 2001.
- 58 LIMA, A. **A satisfação no transporte coletivo através do modelo de serviço de fretamento e o progresso das cidades.** *Revista dos Transportes Públicos*, ano 25, p. 231-239, 3ºtrim. 2003.
- 59 LOUREIRO, C.F.G; RALSTON, B.A. (1996). **SIG como plataforma para análise de modelos de redes de transporte.** In: CONFRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES – ANPET. 11, Rio de Janeiro, 1997. Anais. v.1. p. 138-146.
- 60 LUZ, M. **Mobilidade urbana: alternativas para evitar o caos no trânsito.** *Revista Indústria Capixaba*. Vitória: FINDES, nº 29, p. 12 -16, set.- out. 2010.
- 61 MAPA, S. M. S., LIMA, R. S. **Sistemas de informação geográfica (SIG) como ferramenta suporte a estudos de localização e roteirização.** In: XII SIMPEP, 2005, Bauru, São Paulo.
- 62 MARTINS, J. A. F.; LADEIRA, R. M.; JUNQUEIRA FILHO, L. M. **Os caminhos do transporte clandestino.** *Revista dos Transportes Públicos*, Sessão 2, ano 23, n. 89, p. 97-106, 4º trim. 2000.

- 63 MELO, A. C. S. **Avaliação do uso de sistemas de roteirização de veículos.** Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
- 64 MILLER, H.J., SHAW, S. **Geographic information systems for transportation – principles and applications.** Ed. Oxford, 2001, 460 p.
- 65 MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Disponível em: <www.mct.gov.br>. Acesso em: 10 jan. 2011.
- 66 MINISTÉRIO DAS CIDADES. Disponível em: <www.cidades.gov.br>. Acesso em: 10 jan. 2011.
- 67 MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Disponível em:<www.mct.gov.br> Acesso em: 15 jan. 2011.
- 68 NASSI, C.D.; SANTOS, M.P.S.; BODMER, M.; ORRICO FILHO, R.D.; GAVA, R.M. **Adaptação gráfica de uma base cartográfica de um município voltada para os problemas de transporte público.** In: CONFRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES – ANPET. 8, Recife, 1994. Anais. v.1. p. 541-550.
- 69 NAZÁRIO, P. (1998). **GIS: Definições e aplicações na logística.** Revista Tecnológica, outubro/1998, pp. 16-21.
- 70 NETO, A. F.; LIMA, R. S. **Roteirização de veículos de uma rede atacadista com o auxílio de sistemas de informação geográfica (SIG).** Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção, n.5, p. 18 – 39, Jun. 2006.
- 71 NOVAES, A. G. **Sistemas logísticos: transporte, armazenagem e distribuição física de produtos.** São Paulo, ed. Edgard Blucher Ltda., 1989, 376 p.
- 72 NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição.** 3ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2007. 404p.

- 73 PINA, M. F.; SANTOS, S. M. **Conceitos básicos de sistemas de informação geográfica e cartografia aplicados à saúde**. DIS/CICT/FIOCRUZ – Departamento de Informações em Saúde/Centro de Informação Científica e Tecnológica/Fundação Oswaldo Cruz. Brasília: OPAS, 2000.
- 74 PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS - **Lei Municipal n. 4.959 de 06 de dezembro de 1979**. Decreto de Regulamentação n. 11.480 de 06 de abril de 1994.
- 75 RAIÁ JUNIOR, A. A. **Acessibilidade e mobilidade na estimativa de um índice de potencial de viagens utilizando redes neurais artificiais e sistema de informações geográficas**. 196p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2000.
- 76 REVISTA TRANSPORTE MODERNO, 2009. **Anuário 2009**. São Paulo, 2009.
- 77 RIGO, Christiany Loss. **Proposta de resolução do problema de logística reversa do óleo residual de fritura**. 2009. 147p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Transportes) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.
- 78 RONEN, D. **Perspectives on practical aspects of truck routing and scheduling**. European Journal of Operational Research, 35(2):137-145, 1988.
- 79 ROSA, R.A. **Roteirização do transporte diário de empregados por uma frota de ônibus fretada**. Espírito Santo, 119 p. Dissertação (Mestrado em Informática) – Programa de Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1996.

- 80 ROSE, Adriana. **Uma avaliação comparativa de alguns sistemas de informações geográficas aplicados aos transportes**. 2001. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Área de Concentração: Transportes) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
- 81 SANTOS, J. M.; PINTO, R. R. S. **Fretamento – Uma alternativa atraente para combater o transporte individual**. In: **Anais do 14º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito**. 2003. CD-ROM.2003.
- 82 SANTOS, L; RAIJA JUNIOR, A. A. **Distribuição espacial dos acidentes de trânsito em São Carlos (SP): identificação de tendências de deslocamento através da técnica de elipse de desvio padrão**. Revista Caminhos de Geografia, v.7 (18), p. 134-147. 2006.
- 83 SILVA, A.N.R.; VARGAS, E.N.Z.; ITO, L.E.; CUBAS, S.I.B. 1994. **O uso de sistemas de informação geográfica no planejamento e reestruturação de sistemas de transporte público urbano**. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE TRANSPORTE PUBLICO Y URBANO – CLATPU. 7 Memorias, Buenos Aires, Argentina, Tomo 2, p. 333-342.
- 84 SILVA, Antônio Néilson Rodrigues da. **Sistemas de informações geográficas para planejamento de transportes**. 1998. 112f. Tese (Livre-Docência) Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- 85 SILVA, Camila Maria de Paiva e. **Utilização do sistema de posicionamento global para monitoramento do transporte fretado**. 2006. 209f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Área de Concentração: Transportes) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

- 86 SOUZA, A. O. P. (Coord.) **São Paulo interligado: o plano de transporte público urbano em implantação na gestão 2001-2004**. São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo, Secretaria Municipal de Transportes, out. 2004. 324p.
- 87 SINDICATO DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE DE PASSAGEIROS POR FRETAMENTO E PARA TURISMO DE SÃO PAULO E REGIÃO. 2008. Disponível em: <www.transfretur.org.br>. Acesso em: 15 jan. 2011.
- 88 VALENTE, A.M; PASSAGLIA, E; NOVAES, A. G. **Gerenciamento de transporte e frotas**. São Paulo, ed. Pioniera Thomson Learning, 2003, 215 p.
- 89 VERLANGIERI, M. V. **Distribuição, um desafio constante**. 1999. Disponível em: <www.guiadelogistica.com.br>. Artigos e Casos. Acesso em: 22 jan. 2009.
- 90 Viviane, E.; Sória, M.H.A; Silva, A.N.R; 1994. **Gerenciamento de vias não pavimentadas e a utilização de sistemas de informação geográfica**. In: 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Anais, Florianópolis, pp. 118-126.
- 91 VUCHIC, V. R. **Urban public transportation - systems and technology**. New Jersey, Jonh Wiley and Lons, Inc, 2007.
- 92 VIX LOGÍSTICA. Disponível em: <www.vix.com.br>. Acesso em: 10 jan. 2011.
- 93 VIAÇÃO SATÉLITE. Disponível em: <www.satelite.com.br>. Acesso em: 10 jan. 2011.

ANEXOS

ANEXO A – Relatório de Itinerário do Modo de Operação *Pickup*

Itinerary Report

Route # : 1		Tot Time: 0:25	Capacity : 45.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 9.9	Depart Load: 0.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Pickup
	8001	7:00am		
1	8016	7:01am- 7:03am	1.3	2.0
2	8019	7:03am- 7:04am	0.2	3.0
3	8026	7:05am- 7:06am	0.4	4.0
4	8040	7:07am- 7:08am	0.3	2.0
5	8029	7:08am- 7:10am	0.3	3.0
6	8028	7:10am- 7:13am	0.0	16.0
7	8030	7:13am- 7:16am	0.2	10.0
8	8060	7:17am- 7:18am	1.0	1.0
9	8059	7:19am- 7:20am	0.3	3.0
10	RODOVIÁRIA	7:25am- --	5.4	0.0
	END			
Total			9.9	44.0

Route # : 2		Tot Time: 0:23	Capacity : 45.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 9.0	Depart Load: 0.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Pickup
	8001	7:00am		
1	8052	7:01am- 7:02am	1.3	1.0
2	8050	7:02am- 7:04am		1.0
2	8047	7:04am- 7:06am	0.3	4.0
3	8044	7:06am- 7:08am	0.5	7.0
4	8041	7:08am- 7:11am	0.1	14.0
5	8039	7:12am- 7:14am	0.2	9.0
6	8033	7:15am- 7:17am	0.8	9.0
7	RODOVIÁRIA	7:23am- --	5.5	0.0
	END			
Total			9.0	45.0

Route # : 3		Tot Time: 0:22	Capacity : 45.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 8.7	Depart Load: 0.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Pickup
	8001	7:00am		
1	8008	7:01am- 7:02am	0.5	2.0
2	8010	7:02am- 7:03am	0.2	2.0
3	8046	7:04am- 7:09am	0.7	23.0
4	8043	7:09am- 7:10am	0.3	3.0
5	8056	7:11am- 7:12am	0.2	5.0
6	8037	7:13am- 7:15am	0.4	5.0
7	8036	7:15am- 7:17am	0.3	5.0
8	RODOVIÁRIA	7:22am- --	5.7	0.0
	END			
Total			8.7	45.0

Route # : 4	Tot Time: 0:21	Capacity : 45.0	
Veh. Type: 1	Tot Dist: 9.2	Depart Load: 0.0	
No. Name	Arrival-Depart	Dist	Pickup

8001	7:00am		
1 8001	7:00am- 7:01am	0.0	1.0
2 8053	7:02am- 7:05am	1.0	10.0
3 8049	7:05am- 7:08am	0.5	9.0
4 8048	7:08am- 7:10am	0.1	10.0
5 8022	7:10am- 7:14am	0.3	15.0
6 RODOVIÁRIA	7:21am- --	7.1	0.0
END			
Total		9.2	45.0

Route # : 5	Tot Time: 0:21	Capacity : 45.0	
Veh. Type: 1	Tot Dist: 8.9	Depart Load: 0.0	
No. Name	Arrival-Depart	Dist	Pickup

8001	7:00am		
1 8000	7:00am- 7:02am	0.2	2.0
2 8015	7:03am- 7:05am	1.1	8.0
3 8014	7:05am- 7:09am	0.0	20.0
4 8023	7:09am- 7:12am	0.3	14.0
5 8035	7:14am- 7:15am	1.2	1.0
6 RODOVIÁRIA	7:21am- --	5.7	0.0
END			
Total		8.9	45.0

Route # : 6	Tot Time: 0:21	Capacity : 45.0	
Veh. Type: 1	Tot Dist: 8.2	Depart Load: 0.0	
No. Name	Arrival-Depart	Dist	Pickup

8001	7:00am		
1 8006	7:00am- 7:01am	0.0	2.0
2 8009	7:02am- 7:04am	0.5	8.0
3 8011	7:04am- 7:06am	0.2	7.0
4 8013	7:07am- 7:09am	0.3	7.0
5 8012	7:09am- 7:12am	0.0	17.0
6 8054	7:13am- 7:15am	0.5	4.0
7 RODOVIÁRIA	7:21am- --	6.4	0.0
END			
Total		8.2	45.0

Route # : 7	Tot Time: 0:21	Capacity : 45.0	
Veh. Type: 1	Tot Dist: 9.1	Depart Load: 0.0	
No. Name	Arrival-Depart	Dist	Pickup

8001	7:00am		
1 8005	7:00am- 7:02am	0.2	3.0
2 8064	7:02am- 7:05am	0.6	13.0
3 8051	7:06am- 7:07am	0.3	6.0
4 8024	7:08am- 7:11am	0.3	15.0
5 8021	7:12am- 7:14am	0.4	8.0
6 RODOVIÁRIA	7:21am- --	7.0	0.0
END			
Total		9.1	45.0

ANEXO B – Relatório Resumo do Modo de Operação *Pickup*

Procedure Vehicle Routing with Time Windows on November 24, 2011 (10:01 PM)

***** INPUT *****

```

Operation           : Pickup
Minimizing          : Distance
Matrix File         : D:\Modelagem TransCAD\0 -
TransCAD\MATRIZ_CENARIO_BASE_PICKUP.mtx
Stop View           : PONTOS DE PARADA
Stop Selection       : Ponto (44)
Total Demand        : 314.0
Stop ID Field       : ID
Stop Demand Field   : Pickup
Stop Open Time      : [Open Time (Pickup)]
Stop Close Time     : [Close Time (Pickup)]
Fixed Service Time  : 1 min.
Time Per Unit       : 0 min.
Stop Name Field     : [N° Ponto]

Vehicle Table       : VEH_TAB
Total Veh. Capacity : 315.0

Route Duration Limit : 1:00

```

***** OUTPUT *****

```

Tour Table          : D:\Dados\vrptw_rt.bin
Itinerary Report    : D:\Dados\vrptw_it.txt
Total Time          : 2:34 (154.0 min.)
Total Travel Time   : 1:03 (62.9 min.)
Total Wait          : 0:00 (0.0 min.)
Total Service Time  : 1:31 (91.1 min.)
Longest Route Time  : 0:25 (25.5 min.)
Total Distance      : 62.9
Number of Routes    : 7
                    Total Stops Visited : 44
Total Demand Serviced: 314.0

Vehicle Utility     : 99.7%
Total Running Time 00:00:00.062.

```

ANEXO C – Tabela de Rotas do Modo de Operação *Pickup*

Route	Veh_Type	Stop	Name	Node	Sequence	Open Time	Due Time	Arrival	Wait	Service Time	Departure	Travel Time	Distance	Tot_Dist	Pickup	Tot_Load	Stop Type	StopLayID
1	1	11	8001	88250	0	700	800				700			0			Depot	1
1	1	49	8016	88861	1	700	800	701	0	1.3	703	1.349536	1.34953594	1.349536	2	2	Pickup	2
1	1	44	8019	88743	2	700	800	703	0	1.45	704	0.213697	0.21369657	1.563233	3	5	Pickup	3
1	1	31	8026	89178	3	700	800	705	0	1.6	706	0.436496	0.43649599	1.999729	4	9	Pickup	4
1	1	47	8040	88885	4	700	800	707	0	1.3	708	0.312639	0.31263894	2.312367	2	11	Pickup	5
1	1	37	8029	88250	5	700	800	708	0	1.45	710	0.331124	0.33112389	2.643491	3	14	Pickup	6
1	1	14	8028	89175	6	700	800	710	0	3.4	713	0.07228	0.0722798	2.715771	16	30	Pickup	7
1	1	41	8030	89073	7	700	800	713	0	2.5	716	0.25901	0.25900984	2.974781	10	40	Pickup	8
1	1	33	8060	89430	8	700	800	717	0	1.15	718	1.074837	1.07483685	4.049618	1	41	Pickup	9
1	1	50	8059	89358	9	700	800	719	0	1.45	720	0.376241	0.37624121	4.425859	3	44	Pickup	10
1	1	59	RODOVIÁRIA	93013	10	700	800	725				5.432208	5.43220806	9.858067		44	Depot	11
2	1	11	8001	88250	0	700	800				700			0		0	Depot	12
2	1	36	8052	88506	1	700	800	701	0	1.15	702	1.309531	1.30953085	1.309531	1	1	Pickup	13
2	1	3	8050	88506	1	700	800	702	0	1.15	704	0	0	1.309531	1	2	Pickup	14
2	1	27	8047	88505	2	700	800	704	0	1.6	706	0.320053	0.3200525	1.629583	4	6	Pickup	15
2	1	10	8044	88855	3	700	800	706	0	2.05	708	0.573127	0.57312655	2.20271	7	13	Pickup	16
2	1	15	8041	88690	4	700	800	708	0	3.1	711	0.179952	0.17995213	2.382662	14	27	Pickup	17
2	1	19	8039	88885	5	700	800	712	0	2.35	714	0.246121	0.24612094	2.628783	9	36	Pickup	18
2	1	42	8033	89331	6	700	800	715	0	2.35	717	0.861801	0.86180079	3.490584	9	45	Pickup	19
2	1	59	RODOVIÁRIA	93013	7	700	800	723				5.498201	5.49820137	8.988785		45	Depot	20
3	1	11	8001	88250	0	700	800				700			0		0	Depot	21
3	1	45	8008	88474	1	700	800	701	0	1.3	702	0.532377	0.53237665	0.532377	2	2	Pickup	22
3	1	52	8010	88655	2	700	800	702	0	1.3	703	0.289989	0.28998882	0.822365	2	4	Pickup	23
3	1	23	8046	88156	3	700	800	704	0	4.45	709	0.734285	0.73428488	1.55665	23	27	Pickup	24
3	1	28	8043	88916	4	700	800	709	0	1.45	710	0.328796	0.32879639	1.885447	3	30	Pickup	25
3	1	43	8056	88788	5	700	800	711	0	1.75	712	0.283954	0.28395438	2.169401	5	35	Pickup	26
3	1	57	8037	89169	6	700	800	713	0	1.75	715	0.488804	0.48880368	2.658205	5	40	Pickup	27
3	1	25	8036	89347	7	700	800	715	0	1.75	717	0.369724	0.36972418	3.027929	5	45	Pickup	28
3	1	59	RODOVIÁRIA	93013	8	700	800	722				5.7157	5.71569967	8.743629		45	Depot	29
4	1	11	8001	88250	0	700	800				700			0		0	Depot	30
4	1	11	8001	88250	0	700	800	700	0	1.15	701	0	0	0	1	1	Pickup	31
4	1	39	8053	88551	1	700	800	702	0	2.5	705	0.995039	0.99503875	0.995039	10	11	Pickup	32
4	1	35	8049	88473	2	700	800	705	0	2.35	708	0.543152	0.54315227	1.538191	9	20	Pickup	33
4	1	16	8048	88505	3	700	800	708	0	2.5	710	0.12177	0.12177049	1.659962	10	30	Pickup	34
4	1	5	8022	88621	4	700	800	710	0	3.25	714	0.32531	0.32531029	1.985272	15	45	Pickup	35
4	1	59	RODOVIÁRIA	93013	5	700	800	721				7.166831	7.16683149	9.152103		45	Depot	36
5	1	11	8001	88250	0	700	800				700			0		0	Depot	37
5	1	24	8000	88538	1	700	800	700	0	1.3	702	0.262966	0.2629658	0.262966	2	2	Pickup	38
5	1	38	8015	88997	2	700	800	703	0	2.2	705	1.156364	1.15636444	1.41933	8	10	Pickup	39
5	1	53	8014	88569	3	700	800	705	0	4	709	0.085041	0.08504146	1.504372	20	30	Pickup	40
5	1	9	8023	88843	4	700	800	709	0	3.1	712	0.394565	0.39456457	1.898936	14	44	Pickup	41
5	1	58	8035	89347	5	700	800	714	0	1.15	715	1.267376	1.26737571	3.166312	1	45	Pickup	42
5	1	59	RODOVIÁRIA	93013	6	700	800	721				5.7157	5.71569967	8.882012		45	Depot	43
6	1	11	8001	88250	0	700	800				700			0		0	Depot	44
6	1	20	8006	88251	1	700	800	700	0	1.3	701	0.075131	0.07513105	0.075131	2	2	Pickup	45
6	1	1	8009	88457	2	700	800	702	0	2.2	704	0.517898	0.51789814	0.593029	8	10	Pickup	46
6	1	46	8011	88655	3	700	800	704	0	2.05	706	0.229336	0.22933626	0.822365	7	17	Pickup	47
6	1	18	8013	88662	4	700	800	707	0	2.05	709	0.316143	0.31614286	1.138508	7	24	Pickup	48
6	1	12	8012	88590	5	700	800	709	0	3.55	712	0.086646	0.08664609	1.225154	17	41	Pickup	49
6	1	30	8054	88843	6	700	800	713	0	1.6	715	0.553042	0.55304241	1.778197	4	45	Pickup	50
6	1	59	RODOVIÁRIA	93013	7	700	800	721				6.40933	6.40933037	8.187527		45	Depot	51
7	1	11	8001	88250	0	700	800				700			0		0	Depot	52
7	1	21	8005	88914	1	700	800	700	0	1.45	702	0.197576	0.19757588	0.197576	3	3	Pickup	53
7	1	26	8064	88652	2	700	800	702	0	2.95	705	0.606314	0.6063143	0.80389	13	16	Pickup	54
7	1	2	8051	88326	3	700	800	706	0	1.9	707	0.377486	0.37748563	1.181376	6	22	Pickup	55
7	1	6	8024	88427	4	700	800	708	0	3.25	711	0.389681	0.38968104	1.571057	15	37	Pickup	56
7	1	48	8021	88635	5	700	800	712	0	2.2	714	0.493183	0.4931826	2.064239	8	45	Pickup	57
7	1	59	RODOVIÁRIA	93013	6	700	800	721				7.039188	7.03918839	9.103428		45	Depot	58

ANEXO D – Relatório de Itinerário do Modo de Operação *Delivery*

Itinerary Report

Route # : 1		Tot Time: 0:29	Capacity : 45.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 10.4	Depart Load: 45.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery

	RODOVIÁRIA	5:20pm		
1	8005	5:28pm- 5:30pm	8.4	3.0
2	8006	5:30pm- 5:32pm	0.3	2.0
3	8001	5:32pm- 5:33pm	0.0	1.0
4	8000	5:33pm- 5:34pm	0.2	2.0
5	8008	5:35pm- 5:36pm	0.2	2.0
6	8009	5:36pm- 5:38pm	0.0	8.0
7	8011	5:38pm- 5:40pm	0.2	7.0
8	8010	5:40pm- 5:42pm		2.0
8	8051	5:42pm- 5:44pm	0.0	6.0
9	8053	5:44pm- 5:46pm	0.2	10.0
10	8052	5:47pm- 5:48pm	0.3	1.0
11	8050	5:48pm- 5:49pm		1.0
	END			
	Total		10.4	45.0

Route # : 2		Tot Time: 0:19	Capacity : 45.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 8.3	Depart Load: 45.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery

	RODOVIÁRIA	5:20pm		
1	8015	5:28pm- 5:30pm	7.5	8.0
2	8013	5:30pm- 5:32pm	0.3	7.0
3	8012	5:32pm- 5:36pm	0.0	17.0
4	8064	5:36pm- 5:39pm	0.2	13.0
	END			
	Total		8.3	45.0

Route # : 3		Tot Time: 0:20	Capacity : 45.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 8.7	Depart Load: 45.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery

	RODOVIÁRIA	5:20pm		
1	8019	5:27pm- 5:29pm	7.4	3.0
2	8021	5:29pm- 5:31pm	0.2	8.0
3	8022	5:32pm- 5:35pm	0.2	15.0
4	8047	5:35pm- 5:37pm	0.3	4.0
5	8024	5:37pm- 5:40pm	0.4	15.0
	END			
	Total		8.7	45.0

Route # : 4		Tot Time: 0:19	Capacity : 45.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 7.9	Depart Load: 45.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery

	RODOVIÁRIA	5:20pm		
1	8043	5:27pm- 5:29pm	7.1	3.0
2	8046	5:29pm- 5:33pm	0.3	23.0
3	8048	5:34pm- 5:36pm	0.3	10.0
4	8049	5:36pm- 5:39pm	0.1	9.0
	END			
	Total		7.9	45.0

Route # : 5		Tot Time: 0:21	Capacity : 45.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 8.2	Depart Load: 45.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery

	RODOVIÁRIA	5:20pm		
1	8035	5:26pm- 5:27pm	6.2	1.0
2	8026	5:28pm- 5:30pm	0.8	4.0
3	8054	5:30pm- 5:32pm	0.4	4.0
4	8023	5:32pm- 5:35pm		14.0
4	8016	5:35pm- 5:37pm	0.4	2.0
5	8014	5:37pm- 5:41pm	0.1	20.0
	END			
	Total		8.2	45.0

Route # : 6		Tot Time: 0:22	Capacity : 45.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 7.8	Depart Load: 45.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery

	RODOVIÁRIA	5:20pm		
1	8037	5:27pm- 5:28pm	6.5	5.0
2	8029	5:29pm- 5:30pm	0.2	3.0
3	8039	5:30pm- 5:33pm	0.3	9.0
4	8040	5:33pm- 5:34pm		2.0
4	8056	5:34pm- 5:36pm	0.3	5.0
5	8041	5:36pm- 5:39pm	0.0	14.0
6	8044	5:39pm- 5:42pm	0.1	7.0
	END			
	Total		7.8	45.0

Route # : 7		Tot Time: 0:21	Capacity : 45.0	
Veh. Type: 1		Tot Dist: 8.4	Depart Load: 44.0	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery

	RODOVIÁRIA	5:20pm		
1	8033	5:26pm- 5:28pm	6.0	9.0
2	8036	5:29pm- 5:31pm	0.3	5.0
3	8030	5:31pm- 5:33pm	0.3	10.0
4	8028	5:34pm- 5:37pm	0.3	16.0
5	8059	5:38pm- 5:39pm	0.9	3.0
6	8060	5:40pm- 5:41pm	0.3	1.0
	END			
	Total		8.4	44.0

ANEXO E – Relatório Resumo do Modo de Operação *Delivery*

Procedure Vehicle Routing with Time Windows on November 24, 2011 (11:11 PM)

***** INPUT *****

```

Operation           : Delivery
Minimizing          : Distance
Matrix File         : D:\Modelagem TransCAD\0 -
TransCAD\MATRIZ_CENARIO_BASE_DELIVERY.mtx
Stop View           : PONTOS DE PARADA
Stop Selection       : Ponto (44)
Total Demand        : 314.0
Stop ID Field       : ID
Stop Demand Field   : Delivery
Stop Open Time      : [Open Time (Delivery)]
Stop Close Time     : [Close Time (Delivery)]
Fixed Service Time  : 1 min.
Time Per Unit       : 0 min.
Stop Name Field     : [N° Ponto]

Vehicle Table       : VEH_TAB
Total Veh. Capacity : 315.0

Route Duration Limit : 1:00

```

***** OUTPUT *****

```

Tour Table          : D:\Dados\vrptw_rt.bin
Itinerary Report    : D:\Dados\vrptw_it.txt
Total Time          : 2:31 (150.6 min.)
Total Travel Time   : 1:00 (59.5 min.)
Total Wait          : 0:00 (0.0 min.)
Total Service Time  : 1:31 (91.1 min.)
Longest Route Time  : 0:29 (29.1 min.)
Total Distance      : 59.5
Number of Routes    : 7

Total Stops Visited : 44
Total Demand Serviced: 314.0

Vehicle Utility     : 99.7%
Total Running Time  00:00:00.047.

```

ANEXO F – Tabela de Rotas do Modo de Operação *Delivery*

Route	Veh_Type	Stop	Name	Node	Sequence	Open Time	Due Time	Arrival	Wait	Service Time	Departure	Travel Time	Distance	Tot_Dist_	Delivery	Tot_Load	Stop Type	StopLayID
1	1	59	RODOVIÁRIA	93013	0	1720	1820				1720			0		45	Depot	1
1	1	21	8005	88914	1	1720	1820	1728	0	1,45	1730	8,48328	8,483283	8,483283	3	42	Delivery	2
1	1	20	8006	88251	2	1720	1820	1730	0	1,3	1732	0,30788	0,3078784	8,791161	2	40	Delivery	3
1	1	11	8001	88250	3	1720	1820	1732	0	1,15	1733	0,07513	0,0751311	8,866292	1	39	Delivery	4
1	1	24	8000	88538	4	1720	1820	1733	0	1,3	1734	0,26297	0,2629658	9,129258	2	37	Delivery	5
1	1	45	8008	88474	5	1720	1820	1735	0	1,3	1736	0,26941	0,2694108	9,398669	2	35	Delivery	6
1	1	1	8009	88457	6	1720	1820	1736	0	2,2	1738	0,06065	0,0606526	9,459322	8	27	Delivery	7
1	1	46	8011	88655	7	1720	1820	1738	0	2,05	1740	0,22934	0,2293363	9,688658	7	20	Delivery	8
1	1	52	8010	88655	7	1720	1820	1740	0	1,3	1742	0	0	9,688658	2	18	Delivery	9
1	1	2	8051	88326	8	1720	1820	1742	0	1,9	1744	0,09336	0,0933605	9,782018	6	12	Delivery	10
1	1	39	8053	88551	9	1720	1820	1744	0	2,5	1746	0,26603	0,2660338	10,04805	10	2	Delivery	11
1	1	36	8052	88506	10	1720	1820	1747	0	1,15	1748	0,31449	0,3144923	10,36254	1	1	Delivery	12
1	1	3	8050	88506	10	1720	1820	1748	0	1,15	1749	0	0	10,36254	1	0	Delivery	13
2	1	59	RODOVIÁRIA	93013	0	1720	1820				1720			0		45	Depot	14
2	1	38	8015	88997	1	1720	1820	1728	0	2,2	1730	7,58177	7,5817657	7,581766	8	37	Delivery	15
2	1	18	8013	88662	2	1720	1820	1730	0	2,05	1732	0,31652	0,3165152	7,898281	7	30	Delivery	16
2	1	12	8012	88580	3	1720	1820	1732	0	3,55	1736	0,08665	0,0866461	7,984927	17	13	Delivery	17
2	1	26	8064	88652	4	1720	1820	1736	0	2,95	1739	0,26933	0,2693302	8,254257	13	0	Delivery	18
3	1	59	RODOVIÁRIA	93013	0	1720	1820				1720			0		45	Depot	19
3	1	44	8019	88743	1	1720	1820	1727	0	1,45	1729	7,44203	7,4420347	7,442035	3	42	Delivery	20
3	1	48	8021	88635	2	1720	1820	1729	0	2,2	1731	0,26158	0,2615784	7,703613	8	34	Delivery	21
3	1	5	8022	88621	3	1720	1820	1732	0	3,25	1735	0,213	0,2129984	7,916612	15	19	Delivery	22
3	1	27	8047	88505	4	1720	1820	1735	0	1,6	1737	0,32531	0,3253103	8,241922	4	15	Delivery	23
3	1	6	8024	88427	5	1720	1820	1737	0	3,25	1740	0,43733	0,4373327	8,679255	15	0	Delivery	24
4	1	59	RODOVIÁRIA	93013	0	1720	1820				1720			0		45	Depot	25
4	1	28	8043	88916	1	1720	1820	1727	0	1,45	1729	7,13994	7,1399364	7,139936	3	42	Delivery	26
4	1	23	8046	88156	2	1720	1820	1729	0	4,45	1733	0,3288	0,3287964	7,468733	23	19	Delivery	27
4	1	16	8048	88505	3	1720	1820	1734	0	2,5	1736	0,2973	0,297302	7,766035	10	9	Delivery	28
4	1	35	8049	88473	4	1720	1820	1736	0	2,35	1739	0,12177	0,1217705	7,887805	9	0	Delivery	29
5	1	59	RODOVIÁRIA	93013	0	1720	1820				1720			0		45	Depot	30
5	1	58	8035	89347	1	1720	1820	1726	0	1,15	1727	6,22926	6,2292552	6,229255	1	44	Delivery	31
5	1	31	8026	89178	2	1720	1820	1728	0	1,6	1730	0,859	0,8590015	7,088257	4	40	Delivery	32
5	1	30	8054	88843	3	1720	1820	1730	0	1,6	1732	0,49119	0,4911934	7,57945	4	36	Delivery	33
5	1	9	8023	88843	3	1720	1820	1732	0	3,1	1735	0	0	7,57945	14	22	Delivery	34
5	1	49	8016	88861	4	1720	1820	1735	0	1,3	1737	0,41759	0,4175889	7,997039	2	20	Delivery	35
5	1	53	8014	88569	5	1720	1820	1737	0	4	1741	0,16921	0,1692106	8,166249	20	0	Delivery	36
6	1	59	RODOVIÁRIA	93013	0	1720	1820				1720			0		45	Depot	37
6	1	57	8037	89169	1	1720	1820	1727	0	1,75	1728	6,58994	6,5899444	6,589944	5	40	Delivery	38
6	1	37	8029	89250	2	1720	1820	1729	0	1,45	1730	0,26787	0,2678713	6,857816	3	37	Delivery	39
6	1	19	8039	88885	3	1720	1820	1730	0	2,35	1733	0,33112	0,3311239	7,18894	9	28	Delivery	40
6	1	47	8040	88885	3	1720	1820	1733	0	1,3	1734	0	0	7,18894	2	26	Delivery	41
6	1	43	8056	88788	4	1720	1820	1734	0	1,75	1736	0,31506	0,3150558	7,503995	5	21	Delivery	42
6	1	15	8041	88690	5	1720	1820	1736	0	3,1	1739	0,07245	0,0724515	7,576447	14	7	Delivery	43
6	1	10	8044	88855	6	1720	1820	1739	0	2,05	1742	0,17995	0,1799521	7,756399	7	0	Delivery	44
7	1	59	RODOVIÁRIA	93013	0	1720	1820				1720			0		44	Depot	45
7	1	42	8033	89331	1	1720	1820	1726	0	2,35	1728	6,0403	6,0402989	6,040299	9	35	Delivery	46
7	1	25	8036	89347	2	1720	1820	1729	0	1,75	1731	0,37953	0,3795322	6,419831	5	30	Delivery	47
7	1	41	8030	89073	3	1720	1820	1731	0	2,5	1733	0,31842	0,3184223	6,738253	10	20	Delivery	48
7	1	14	8028	89175	4	1720	1820	1734	0	3,4	1737	0,38375	0,3837485	7,122002	16	4	Delivery	49
7	1	50	8059	89358	5	1720	1820	1738	0	1,45	1739	0,90974	0,9097421	8,031744	3	1	Delivery	50
7	1	33	8060	89430	6	1720	1820	1740	0	1,15	1741	0,37624	0,3762412	8,407985	1	0	Delivery	51