Campus de São Carlos

*A VIABILIZAÇÃO DE SOFTWARES COMERCIAIS NA ROTEIRIZAÇÃO DE
VEÍCULOS DE SERVIÇOS DE ENTREGAS, VISANDO A GERAÇÃO DE
RESPOSTAS RÁPIDAS E EFICIENTES*

CELY MARTINS DOS SANTOS

ORIENTADOR: PROF. DR. EDSON MARTINS DE AGUIAR

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

**A VIABILIZAÇÃO DE SOFTWARES COMERCIAIS
NA ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS DE SERVIÇOS
DE ENTREGAS, VISANDO A GERAÇÃO DE
RESPOSTAS RÁPIDAS E EFICIENTES**

CELY MARTINS DOS SANTOS

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia: Área de Concentração Transportes.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Edson Martins de Aguiar

**São Carlos
1999**

Class.	TESE-EESC
Out.	5202
Tombo	197/99

J053762

S237v Santos, Cely Martins dos
A viabilização de softwares comerciais na
roteirização de veículos de serviços de entregas,
visando a geração de respostas rápidas e eficientes /
Cely Martins dos Santos. -- São Carlos, 1999.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.

Área: Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Edson Martins de Aguiar.

1. Fluxos em redes. 2. SIG. 3. Roteirização de
veículos. 4. Distribuição física. 5. Logística.
I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Engenheira **CELY MARTINS DOS SANTOS**

Dissertação defendida e aprovada em 29-4-1999
pela Comissão Julgadora:

Prof. Doutor **EDSON MARTINS DE AGUIAR (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **ANTÔNIO NELSON RODRIGUES DA SILVA**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Profª. Doutora **LUZENIRA ALVES BRASILEIRO**
(UNESP – Campus de Ilha Solteira)

Prof. Doutor **ANTÔNIO NELSON R. DA SILVA**
Coordenador da Área de Transportes

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*“Nossos conhecimentos obscurecem
a nossa fé. Nós questionamos muito,
mas cremos muito pouco.*

*Mas do que máquina, nós
precisamos de humanidade, afeto e
ternura.*

*Sem isto, tudo seria perdido e a vida
não teria mais sentido.
Ela seria apenas violência.”*

Charles Chaplin

*Aos meus pais, Helder e Marliete,
meus maiores mestres...*

AGRADECIMENTOS

- Ao professor Edson Martins de Aguiar pela orientação prestada ao desenvolvimento deste trabalho;
- Ao professor Antônio Néelson Rodrigues da Silva pela contribuição e constante incentivo;
- À distribuidora de bebidas *Lumar* LTDA, na pessoa de Gilberto Drighetti Júnior, que gentilmente concedeu a realização do trabalho nesta Empresa e ao Amarildo Cantiere, “Ligeiro”, que se dispôs a me ajudar na coleta dos dados, meu muito obrigada;
- Ao Serviço de Biblioteca da EESC-USP, pela preciosa contribuição na obtenção do material bibliográfico;
- Aos professores do Departamento de Transportes da Universidade Federal do Ceará, pelo apoio constante e grande incentivo;
- À matemática e amiga Renata Algisi pela ajuda nos procedimentos estatísticos;
- Aos meus familiares, que mesmo distante, incentivaram e encorajaram a realização deste trabalho;
- Aos amigos: Kelly Magalhães, Daniella Bonato, Lucélia Lavandera, Ana Rita e Cássio, Roberto Aramaki, Glauco Pontes, pelo companheirismo e amizade, ao longo do desenvolvimento deste trabalho;
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa de estudo concedida;

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiv
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
 Capítulo 1	
1. INTRODUÇÃO	01
1.1. Justificativa do trabalho	01
1.2. Objetivos	02
1.2.1. Objetivo geral	02
1.2.2. Objetivos específicos	03
1.3. Apresentação do trabalho	03
 Capítulo 2	
2. SISTEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DE PRODUTOS	05
2.1. Logística e a gerência da distribuição	05
2.2. Definição e evolução histórica	08
2.3. Estrutura e componentes do sistema logístico.	10
2.4. Problemas logísticos de domínio dos transportes	11
2.4.1. Métricas logísticas	11
2.4.1.1. Euclidiana	12
2.4.1.2. Retangular	13
2.4.2. Correspondência entre as distâncias	14
2.5. Caracterização da distribuição	15
2.5.1. Formulação do problema de entregas de bebidas	18
2.6. Restrições operacionais de distribuição	20
2.6.1. Características e dificuldades de fluxos em rede	20
2.6.2. Limitações do sistema	21
2.7. Transporte urbano de cargas	22
2.8. Sistema urbano de cargas	22

2.9. Custos operacionais de transporte	26
--	----

Capítulo3

3. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	28
3.1. Definição e características	28
3.2. Evolução histórica	30
3.3. Diferenças dos SIGs, CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Mapping) e AM/ FM (Automated Mapping/Facility Management)	33
3.4. Estruturas de representação dos dados	39
3.5. Componentes de um SIG	40
3.6. Aplicações dos SIGs nos transportes e logística de roteamento	43
3.7. Fases de implantação de um SIG	47

Capítulo4

4. ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS PARA COLETAS E ENTREGAS	50
4.1. Introdução	50
4.2. Noções básicas sobre teoria dos grafos e rede de transportes	51
4.2.1. Definições	53
4.2.2. Análises de redes	57
4.2.3. Complicações nos percursos urbanos	59
4.3. Descrição e formulação dos problemas	60
4.3.1 Complexidade computacional dos métodos de solução	62
4.4. Classificação dos principais problemas de roteirização	64
4.4.1. Problema do carteiro chinês (problema de cobertura de arcos)	65
4.4.2. Problema do caixeiro viajante (problema de cobertura de nós)	65
4.4.3 Vários veículos, um depósito (problema de cobertura de nós)	66
4.4.4. Vários veículos, vários depósitos (problema de cobertura de nós)	67
4.5. Estratégias de solução	67
4.5.1. Métodos de construção de rotas	68
4.5.2. Métodos de melhorias ou trocas	71
4.5.3 Métodos compostos	72
4.5.4 Otimização interativa	72
4.5.5. Heurísticas com janela de tempo	73
4.6. Formulação do problema de entregas de bebidas	77
4.7 Pacotes comercializados para roteirização de veículos	79
4.7.1. A customização de sistemas para roteirização de veículos	85
4.7.2. O uso de inteligência artificial na roteirização de veículos	86

4.7.3. Programação algorítmica na roteirização	88
4.7.4. Sistema de informação geográfica para roteirização de veículos	88

Capítulo 5

5. METODOLOGIA	92
5.1. Abordagens dadas na resolução de esquemas de entregas	92
5.2. Procedimentos adotados	93
5.2.1. Procedimentos usando distâncias de percurso aproximadas	93
5.2.2. Procedimentos automatizados e distâncias euclidianas corrigidas	95
5.2.3. Procedimentos automatizados usando distâncias em rede	97
5.3. Aquisição, entrada e processamento dos dados	97
5.4. Descrição do software e seus recursos	100
5.5. Relação metódica dos procedimentos aplicados	105

Capítulo 6

6. ESTUDO DE CASO	109
6.1. Área do estudo de caso	109
6.2. Justificativa para a escolha dos setores analisados	112
6.3. Procedimentos adotados para o estudo de caso	113

Capítulo 7

7. RESULTADOS	115
7.1. Relação entre distâncias em malha urbana e distâncias euclidianas	115
7.2. Resultados obtidos junto à distribuidora	116
7.3. Resultados dos itinerários obtidos usando distâncias estimadas	117
7.4. Resultados dos itinerários obtidos usando a rotina com janela de tempo	119
7.5. Resultados das rotinas agrupamento-particionamento	126
7.6. Análises dos resultados	131

Capítulo 8

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	134
8.1. Considerações gerais	134
8.2. Conclusões sobre os resultados obtidos	135
8.3. Conclusões sobre o uso do SIG	136
8.4. Sugestões para trabalhos futuros	138

ANEXOS -	140
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -	
APÊNDICE -	

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - Limites do sistema logístico dentro da firma	10
FIGURA 2.2 - Distâncias euclidiana e real	12
FIGURA 2.3 - Distância retangular	13
FIGURA 2.4 - Processo de movimento de cargas	25
FIGURA 3.1 - Elementos de um sistema de informação geográfica	29
FIGURA 3.2 - Camadas de dados armazenados em um SIG	35
FIGURA 3.3 - Características de um CAM	36
FIGURA 3.4 - Características de um sistema AM/FM	37
FIGURA 3.5 - Características de um SIG	38
FIGURA 3.6 - Componentes de base de dados geográficos	41
FIGURA 3.7 - Componentes funcionais de um SIG	43
FIGURA 4.1 - Representação da rede de transportes	52
FIGURA 4.2 - Grafo não orientado e orientado	55
FIGURA 4.3 - Grafo e subgrafo ordenados e não-orientados	56
FIGURA 4.4 - Grafo e subgrafo orientados e ordenados	56
FIGURA 4.5 - Seção de área urbana numa malha viária	60
FIGURA 4.6 - Estratégias de solução para a roteirização e programação	62
FIGURA 4.7 - Comparação entre os algoritmos Polinomial e NP-Completo	64
FIGURA 4.8 - O problema com vários veículos e um depósito central	66
FIGURA 4.9 - Lógica de heurística de economias	70
FIGURA 4.10 - Esquema de solução para o problema básico de roteirização	77
FIGURA 5.1 - Distribuição espacial dos pontos de entrega por área atendida e depósito em São Carlos	96
FIGURA 5.2 - Nova janela para a rotina vehicle routing dada pelo programa	102
FIGURA 6.1 - Situação geográfica do município de São Carlos	110
FIGURA 6.2 - Divisão da cidade em zonas de entregas de bebidas	112
FIGURA 6.3 - Divisão das áreas escolhidas com o estudo de caso em São Carlos	113
FIGURA 7.1 - Relação entre distâncias em rede e distâncias euclidianas na malha urbana de São Carlos	116
FIGURA 7.2 - Pontos de entregas inseridos no mapa de São Carlos para os três dias analisados	118
FIGURA 7.3 - Roteiro traçado para o primeiro dia de entregas	120
FIGURA 7.4 - Roteiro traçado para o segundo dia de entregas	123

FIGURA 7.5 - Roteiro traçado para o terceiro dia de entregas	122
FIGURA 7.6 - Comparação dos percursos em rede e estimados para o primeiro dia das entregas nas três áreas	124
FIGURA 7.7 - Comparação dos percursos em rede e estimados para o segundo dia das entregas nas três áreas	125
FIGURA 7.8 - Comparação dos percursos em rede e estimados para o terceiro dia das entregas nas três áreas	125
FIGURA 7.9 - Distribuição espacial dos pontos das entregas no segundo dia feito pela empresa	127
FIGURA 7.10 - Agrupamento dos clientes baseado nas distâncias estimadas para o segundo dia de entregas	128
FIGURA 7.11 - Agrupamento dos clientes baseado nas distâncias em rede para o segundo dia de entregas	129
FIGURA 7.12 - Propostas dos itinerários para o segundo dia de entregas nas três zonas analisadas	130

LISTA DE TABELAS

<i>TABELA 3.1 - Vantagens e desvantagens dos formatos raster e vetorial</i>	40
<i>TABELA 3.2 - Principais softwares GIS à disposição no mercado brasileiro</i>	49
<i>TABELA 4.1 - Problemas, estratégias e referências para a roteirização</i>	76
<i>TABELA 4.2 - Os principais pacotes comercializados para roteirização de veículos</i>	80
<i>TABELA 4.3 - Os principais pacotes comercializados no Brasil utilizados para roteirização</i>	84
<i>TABELA 4.4 - Os principais programas para roteirização de veículos que trabalham com as bases SIG</i>	91
<i>TABELA 5.1 - Informação sobre os arcos no arquivo geográfico</i>	98
<i>TABELA 5.2 - Representação dos dados sobre a frota de veículos</i>	99
<i>TABELA 5.3 - Base de dados com endereços dos clientes</i>	100
<i>TABELA 6.1 - Parâmetros operacionais relacionados aos produtos</i>	114
<i>TABELA 7.1 - Parâmetros operacionais obtidos junto a distribuidora</i>	117
<i>TABELA 7.2 - Distâncias de percursos obtidas com a matriz de valores estimados (para os três dias analisados (periodicidade da distribuidora)</i>	118
<i>TABELA 7.3 - Porcentagem da diferença entre as percursos reais executadas pela distribuidora e as percursos euclidianos corrigidas para os três dias analisados</i>	119
<i>TABELA 7.4 - Percursos mínimos em rede obtidas com aplicação da rotina roteirização de veículos</i>	123
<i>TABELA 7.5 - Porcentagem da diferença entre os percursos reais executados e os percursos mínimos obtidos com a aplicação da rotina roteirização de veículos</i>	123
<i>TABELA 7.6 - Porcentagem da diferença entre os percursos euclidianos corrigidos e os percursos mínimos obtidos com a aplicação da rotina roteirização de veículos</i>	124
<i>TABELA 7.7 - Resultado do agrupamento feito com base nas distâncias em linha reta (euclidianas)</i>	126
<i>TABELA 7.8 - Resultado do agrupamento feito com base nas distâncias em rede</i>	126

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>AM/FM</i>	<i>Mapeamento automatizado/Gerenciamento de Instalação</i>
<i>CAD</i>	<i>Desenho Assistido por Computador</i>
<i>CADD</i>	<i>Projeto e Desenho Assistido por Computador</i>
<i>CAM</i>	<i>Mapeamento Assistido por Computador</i>
<i>CUSTOMIZAÇÃO</i>	<i>Lapidar, personalizar um sistema computacional</i>
<i>FRETE-PESO</i>	<i>Parcela da tarifa, que visa remunerar as despesas pelo transporte da carga entre origem-destino</i>
<i>GPS</i>	<i>Sistema Global de Posicionamento</i>
<i>KM</i>	<i>Quilômetro</i>
<i>SIG</i>	<i>Sistema de Informação Geográfica</i>
<i>PRAÇA</i>	<i>Área de entrega.</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

G	<i>Grafo ou rede</i>
N	<i>conjunto de nós de uma rede ou grafo</i>
A	<i>conjunto de arcos de uma rede ou grafo</i>
(i, j)	<i>arco direcionado do nó i ao j</i>
$G(N, A)$	<i>Árvore que contém o conjunto completo N de nós e A arcos</i>
$E(N, A)$	<i>fluxo total de N para A</i>
$M = (m_{ij})$	<i>A matriz de adjacência</i>
$l(i, j)$	<i>arco de comprimento l</i>
$q(i, j)$	<i>capacidade do arco (i, j)</i>
s	<i>nó origem $\in N$</i>
t	<i>nó destino $\in N$</i>
$x(i, j)$	<i>fluxo máximo de s para t</i>

RESUMO

SANTOS, C. M. (1999). A viabilização de *softwares* comerciais na roteirização de veículos de serviços de entregas, visando a geração de respostas rápidas e eficientes. São Carlos, 1999. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Este trabalho foi motivado pela necessidade de otimização nos serviços de entregas urbanas combinados com o alto custo de implantação e customização da maioria dos pacotes disponíveis comercialmente, que muitas empresas se defrontam, na expectativa de obtenção de respostas rápidas e eficientes, numa base diária. Geralmente a utilização destes software requerem grandes investimentos de tempo e recursos. Os custos operacionais do transporte de cargas têm experimentado um aumento expressivo devido a fatores que, de uma forma ou de outra, impedem o fluxo eficiente dos veículos na rede, tornando evidente a necessidade de ferramentas flexíveis e efetivas. Vários estudos encontrados na literatura revelaram que fatores como restrições de circulação e velocidades nos arcos têm contribuído para aumentar distâncias de percursos e a frota de veículos. Geralmente, estas rotas são planejadas de forma simplificada, utilizando um fator de correção, que fornece uma solução aproximada. Um SIG foi objeto de estudo na operação de entregas urbanas, de forma a atingir os objetivos deste trabalho. O estudo de caso abordou os serviços de entregas de bebidas na cidade de São Carlos, onde foi aplicada a heurística de economias de *Clarke & Wright* implementadas no *software* TransCAD 3.2. Foram feitas diversas simulações, comparando os resultados das distâncias em rede com os valores das distâncias estimadas, como também com as distâncias percorridas pela empresa distribuidora.

Palavra-chave: Fluxos em rede, SIG, roteamento de veículos, distribuição física, Logística.

ABSTRACT

SANTOS, C. M. (1999). The feasibility of commercial software for vehicles routing of delivery services in order to obtain fast and efficient answers. São Carlos, 1999. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

This research was motivated by the necessity of optimization of urban delivery services and the high cost of implementation and customization of most routing packages commercially available. Moreover, the companies expect to obtain fast and efficient answers on a daily base. The use of some routing software generally requires significant investments of time and other resources. The operational costs of freight transport have had a remarkable increase due to factors which somehow restraint the efficient flow of the vehicles in a network, leading to the need of flexible and effective tools. Several studies in the literature have revealed that factors such as restrictions of circulation and speed on network contribute to increase the travel distances and the fleet size. Generally, these routes are planned in a simplified way, using a correction factor to get an approximated solution. This research has considered the use of Geographical Information Systems as a tool to achieve better results for routing delivery services. The case study was the delivery service of beverages in the city of São Carlos. The Clarke & Wright's heuristic of economies was implemented in the TransCAD 3.2 software. Several simulations were carried out, comparing the results of route length, considering network and estimated distances, as well as the real one traveled by the delivery company's vehicles.

Keywords: Network flows, GIS, vehicles routing, physical distribution, logistic.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa do trabalho

O rápido crescimento da população e sua dispersão geográfica, a alta competitividade nos serviços de coleta e/ou entrega e a complexidade no sistema de trânsito tem causado custos associados aos veículos e equipes de operação, sobretudo em áreas urbanas. Nestes locais, problemas de circulação, carga e descargas são mais acentuados, tornando necessário uma programação racionalizada de tais serviços. Em virtude disso, muitas distribuidoras estão buscando otimizar suas operações de entregas através de *softwares* disponíveis comercialmente. São modelos matemáticos empregados de forma automatizada, o que permite considerar um maior número de variáveis, especificamente, fazer análises espaciais com precisão e visualização das informações nos mapas, mas exigindo tempo e recursos consideráveis para implantação e customização. Neste sentido, vislumbra-se a necessidade de fornecer subsídios às distribuidoras para implantação de um sistema de informação na roteirização de veículos, que amenize os custos de implantação e/ou customização dos mesmos.

GOLDEN & WASIL (1987) investigaram os problemas de roteirização de veículos de uma distribuidora de bebidas e concluíram que nos últimos anos, cresceu o interesse da indústria de bebidas, por métodos de **roteirização automatizados**, sendo, portanto, um dos principais consumidores de tecnologia em Pesquisa Operacional.

Os termos *roteirização* e *roteamento* são usados na literatura, indiferentemente para designar o processo da construção de itinerários e precedência de veículos. Existem diversos serviços de coleta e/ou entregas, o que adiciona complexidade à sua formulação exigindo mais dos modelos matemáticos, podendo comprometer os resultados obtidos com a aplicação de softwares disponíveis. A eficiência destes depende da junção do correto conhecimento dos modelos e sistemas existentes com as características inerentes ao sistema adotado na empresa, visto que há uma gama enorme de programas destinados à roteirização e sequência de entregas.

Este trabalho tem como referencial básico, a análise comparativa de diversas situações geradas através do uso de um sistema comercial para roteirização, no tocante a geração de respostas rápidas, numa base diária. Para tanto, examina-se o transporte de entregas urbanas numa distribuidora de bebidas, delimitando-se às análises em três áreas de abrangência desta, otimizando rotas em termos de distância de percurso em rede e distância estimada por um fator de correção. Primeiro, obteve-se a relação linear entre estas distâncias, usando uma amostra piloto como ponto de partida. Em seguida, elaborou-se um cadastro atualizado de clientes da distribuidora em estudo, bem como dos sentidos referentes a malha viária da cidade em estudo, São Carlos. O *software* TransCAD versão 3.2 foi usado neste para realizar as simulações, através de ferramentas específicas de logística e roteirização.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

- Avaliar situações e cenários que conduzam à viabilização da implantação de sistema computacional na roteirização de veículos, através da aplicação de métodos heurísticos e Sistemas de Informações Geográficas (SIG-T).

1.2.2 Objetivos específicos

- Comparar rotas que minimizem distâncias estimadas e distâncias em rede, destacando a que resulte em menores custos de percursos;
- Investigar o desempenho e viabilidade de implantação de um SIG no planejamento de rotas de distribuição urbana, numa cidade de porte médio;
- Analisar o processo de distribuição existente, definindo possíveis alterações do sistema (através de simulações) na área urbana em estudo;
- Propor um fator de correção para as distâncias em linha reta para uma cidade de porte médio (São Carlos).

1.3 Apresentação do trabalho

No sentido de atingir aos objetivos propostos, o trabalho foi estruturado em oito capítulos. No corrente capítulo, é feita uma breve introdução ao assunto em questão, seguido dos objetivos e tema abordado, bem como, a estrutura de organização.

A seguir será apresentado o Capítulo 2, que se refere ao sistema logístico de distribuição; introduz-se o conceito de logística, estrutura e componentes do processo logístico. Prosseguindo, explana-se sobre os principais problemas logísticos, a caracterização da logística de distribuição, as peculiaridades do estudo de caso (distribuição de bebidas) e custos nos serviços de frete urbano.

Logo após, o capítulo 3 é dedicado aos Sistemas de Informação Geográfica e suas aplicações no planejamento urbano e logística. São descritas as diferenças entre os sistemas SIGs, CADs, AM/FM, relata-se a evolução histórica dessa tecnologia, enumera-se os principais componentes destes sistemas e a forma como os dados são representados. Em seguida, insere-se o SIG-T (aplicado aos transportes), sintetizando os principais trabalhos abordando essa tecnologia, em especial nos transportes e logística. O capítulo prossegue com uma descrição da utilização dos SIGs no planejamento urbano e transportes e, finalmente, o SIG utilizado no presente trabalho.

No Capítulo 4 é feita uma revisão sobre a teoria dos grafos, formas de tratamento da rede e alguns problemas de fluxo em rede de transportes, introduzindo-se conceitos básicos. Posteriormente, descrevem-se os problemas de roteirização e programação de veículos, com as respectivas estratégias de resoluções existentes na literatura e finalmente, apresentam-se os principais pacotes para roteirização comercializados no Brasil.

Na sequência, o Capítulo 5 evidencia o método aplicado neste trabalho à medida que vai descrevendo as principais abordagens empregadas pelas empresas. Descreve-se o método de operação usando distâncias euclidianas (em linha reta) corrigidas nos roteiros e, num mapa base, traça-se as rotas dentro de cada zona, tal qual está dividida hoje. A seguir, planejam-se os roteiros, usando distâncias em rede e velocidade constante para todos os *links*. Relatam-se os procedimentos e medidas empregadas na obtenção e tratamento dos dados. Logo após, expõe-se os recursos do software utilizado, dando as devidas definições e características, para tornar compreensível a metodologia adotada.

No Capítulo 6 são apresentadas as peculiaridades do estudo de caso (distribuição de bebidas). Inicialmente são abordados os critérios de definição sobre a área do estudo de caso e os dados utilizados para realização deste estudo. Em seguida, são mostrados os procedimentos para a utilização das rotinas .

No Capítulo 7 são apresentados os resultados obtidos com o estudo de caso, conduzindo-os às conclusões, escritas no Capítulo 8, juntamente com as sugestões para futuros trabalhos.

CAPÍTULO 2

2. SISTEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO FÍSICA DE PRODUTOS

O Capítulo 2, Sistemas de distribuição física, discursa sobre a logística de distribuição; introduz a logística, definição, estrutura e componentes do processo logístico. Prosseguindo, explana os principais problemas logísticos, características da logística de distribuição e finalmente apresenta peculiaridades do estudo de caso (distribuição de bebidas).

2.1 Logística e a gerência da distribuição

O ponto central na otimização de itinerários, em sistemas de entregas urbanas, fundamenta-se na resolução de questões relacionadas à administração da distribuição. Uma vez que alguns componentes de custos são de difícil redução na prática, o planejamento nos serviços de distribuição torna-se um canal de minimização de custos.

O transporte e a distribuição física sempre foram vistos pelas empresas como um mal necessário. O produto tinha de chegar ao consumidor e, dessa forma, influenciava totalmente a política de marketing. Entretanto, com a alta do petróleo na década de 70, a administração passou a mudar, tornando-se mais científica. As empresas reconheceram que a otimização das atividades de distribuição pode reduzir custos e, até mesmo, adicionar valor aos produtos vendidos. A partir da década de 80 houve uma generalização da economia e os mercados passaram de regionais e nacionais para internacionais, sendo preciso gerar produtos de melhor qualidade, com flexibilidade e confiabilidade nos serviços de entregas.

O processo de distribuição faz parte de uma cadeia de atividades dentro de uma organização denominada de *Logística*. Segundo DASKIN (1985), o termo logística refere-se a combinação otimizada de planejamento e operação dos sistemas físicos (veículos, armazéns, rede viária), informacionais e gerenciais necessários para que insumos e produtos vençam condicionantes temporais e espaciais de forma econômica.

A distribuição dentro da logística de uma empresa compreende todos os movimentos e acondicionamento de bens a partir da fábrica. A última etapa, que vai dos centros de distribuição até o consumidor final, pode ser chamada de transporte local ou entregas, que conforme BODIN et al. (1983), é a tarefa mais dispendiosa da cadeia logística.

Os custos logísticos (estoques, transporte, controle, processamento, distribuição) são fundamentais e constituem pontos cruciais na avaliação de soluções alternativas, sendo a etapa de distribuição a mais expressiva na cadeia logística. Num estudo feito por KEARNEY¹ apud BODIN et al. (1983), custos de distribuição física somam cerca de 16% do valor de um item. O mesmo estudo estimou custos anuais de distribuição em torno de 400 bilhões nos Estados Unidos e quase 15 bilhões no Reino Unido. Noutro estudo feito por LALONDE & ZINSZER (1976), as empresas, no seu processo tradicional, gastam cerca de 10% do seu lucro de vendas e de 1/3 a 2/3 de seu orçamento logístico nos transportes.

As atividades logísticas são aplicadas nas mais diversas áreas; setor militar, negócios, serviços público e privado. Originou-se da logística militar, onde a estratégia definia o local de combate e a logística gerava eficiência em levar – e garantir a permanência de tropas naquele local. Assim, a logística visava, basicamente, a distribuição física do suprimento das mercadorias e equipamentos bélicos para o exército nos campos de batalha (ARRUDA, 1996).

¹ KEARNEY A. (1980). *Improving productivity in physical distribution*. Report undertaken for CPDM, London apud BODIN, L. D.; GOLDEN, B.; ASSAD, A.; BALL, M. (1983) *Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the art*. Computers and Operations Research, v.10, n.2.

Segundo este mesmo autor, a logística envolve atividades de integração de duas ou mais atividades de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente de matéria prima e produto acabado e, para tanto, deve incluir:

- O tipo de serviço oferecido ao cliente;
- A previsão da demanda;
- As comunicações ligadas à distribuição dos produtos;
- O controle de estoques;
- A manutenção das mercadorias;
- O tratamento das encomendas;
- Os serviços pós-venda e acessórios;
- A escolha da localização das fábricas e depósitos;
- Compras e embalagens;
- O tratamento das mercadorias;
- A organização dos transportes e o transporte eficiente das mercadorias;
- O armazenamento e a formação de estoques.

Por fazer parte desta combinação otimizada – produção, distribuição e comercialização de produtos – a distribuição não deve ser analisada de forma isolada. Ela depende direta ou indiretamente de outras áreas, e para que esta atividade seja realizada de forma eficiente, é preciso uma completa harmonia entre diversas atividades dentro da empresa.

O Transporte Urbano de Cargas, responsabiliza-se pelo movimento de bens para dentro, para fora e através de áreas urbanas. Significativos deslocamentos são efetivados como parte de um sistema produtivo, incidindo custos no valor do bem transportado. Neste

sentido, os transportes devem ser estruturados com o intuito de serem um facilitador da circulação geral de pessoas e cargas, visando a obtenção de custo global mínimo e qualidade total dos produtos frente às exigências dos consumidores. Para DANTAS (1998), as análises dos modelos logísticos, devido à sua inserção no sistema de carga urbano, devem considerar as interações existentes entre os diversos responsáveis pelo transporte urbano de cargas, visto que interferem indiretamente na solução a ser obtida.

2.4 Definição e evolução histórica

A palavra logística vêm do francês *loger*, que significa acomodar, ajeitar ou receber. Teve origem na área militar, onde era aplicada no transporte de suprimentos e alocação de tropas. Este conceito evoluiu muito nas décadas que sucederam a segunda Guerra Mundial. Ministrando o fluxo de materiais, produtos e pessoal, entre os vários locais de operação, passou a ser feito de forma integrada.

A primeira obra conhecida de sistematização dos princípios logísticos data de 1837 e foi elaborada pelo general Antonie Henri Jomini² apud ARRUDA (1996). A atividade logística civil é considerada um instrumento de *otimização econômica intermodal dos transportes*, passando a incorporar conjuntamente o transporte de mercadorias e gestão dos estoques.

A atividade logística militar na Segunda Guerra Mundial deu início a muitos dos conceitos logísticos utilizados hoje. Esta influência se deu por volta de 1945, quando algumas indústrias, principalmente as alimentícias, colocaram transporte e armazenagem de produtos acabados sob um único gerente.

² Jomini, A.H. (1837). *Précis de l'art la guerre ou nouveau tableau analytique des principales combinaisons de la stratégie, de la grande tactique et de la politique militaire*, Paris apud ARRUDA, J.B.F. (1996). Logística, eficiência e competitividade empresarial. Notas de aula. Universidade Federal do Ceará.

Até a década de 50, as empresas fragmentavam a administração de atividades chaves em logística. Ou seja, o transporte era encontrado freqüentemente sob o comando gerencial da produção; os estoques eram responsabilidades de marketing, finanças ou produção; e o processamento de pedidos era controlado por finanças ou vendas. Isto resultava no conflito de objetivos e de responsabilidades para as atividades logísticas.

No início de 1950 até a década de 60 houve uma evolução da teoria e prática da logística; iniciaram-se esforços mais estruturados para atacar de forma sistêmica os problemas logísticos, tanto produção quanto comercialização. As atividades de distribuição tornaram-se área de interesse dentro do processo administrativo.

Em 1962 foi criado nos Estados Unidos da América o *Nacional Council of Physical Distribution Management*, com sede em Chicago. Este conselho dedicou-se aos estudos e pesquisas sobre a gestão da distribuição física de produtos. E por volta dos anos 70, os princípios básicos da logística empresarial foram estabelecidos. Sua aplicação já mostrava resultados, porém de forma lenta pois a preocupação com a geração dos lucros era maior do que a preocupação com o controle dos custos.

A competição mundial dos bens manufaturados começou a crescer, juntamente com a escassez de matérias-primas de boa qualidade. Houve uma súbita elevação dos preços do petróleo em 1973, afetando os custos de transportes e de manutenção de estoques. Os assuntos logísticos tornaram-se relevantes e, hoje, a logística está sendo entendida como a integração tanto da administração de materiais como distribuição física (BALLOU, 1995).

No contexto industrial, a responsabilidade da logística começa deste o processo de recebimento de matéria-prima, passando pela movimentação interna desta, sua transformação em produtos, deslocamento e armazenagem até sua eventual entrega aos clientes. Desta forma, a logística resolve tanto problemas que relacionam custo/benefício como busca melhorar o nível de serviço.

2.3 Estrutura e componentes do sistema logístico

A solução dos vários problemas de logística requer um entendimento e caracterização de componentes e suas interações, visto que, soluções eficazes significam satisfação para todos os envolvidos no sistema. A Figura 2.1 mostra como a logística está inserida na indústria, juntamente com as interseções desses setores no campo de atuação da logística. Pode-se observar que as atividades ligadas à logística interagem nos vários setores da empresa, constituindo um sistema à parte, formado pela interseção de diversas áreas.

FIGURA 2.1 – Limites do sistema logístico dentro da firma

Fonte: NOVAES (1989)

2.4 Problemas logísticos de domínio dos transportes

Vários são os problemas logísticos de domínio dos transportes e ocorrem em todas as organizações e prestadores de serviços públicos ou privados que necessitem, dentre

outras atividades, de movimentação de insumos, produtos e/ou serviços. BALLOU (1995) refere-se ao transporte como todo o conjunto de trabalho, facilidade e recursos que compõem a capacidade de movimentação da economia. Esta capacidade implica no movimento de cargas e de pessoas, inclusive a distribuição de intangíveis, tais como telecomunicações, energia elétrica e serviços médicos.

Estas atividades podem ser divididas em três categorias. A primeira seria a coleta, que trata da arrecadação da carga junto aos clientes, ou deslocamento da mesma até o depósito da empresa em questão. O gerente de materiais desenvolve esta atividade para suprir a operação da produção com peças e materiais necessários. A segunda categoria, chamada de transferência, que cuida do transporte desta carga até o depósito ou armazém – neste caso, geralmente os caminhões trafegam com carga cheia; a terceira é chamada de distribuição ou entregas, responsável por levar o produto até clientes e consumidores finais.

Problemas envolvendo os transportes podem receber tratamento com dimensões precisas, neste caso são problemas específicos, nos quais se exige um maior nível de detalhamento, como a localização precisa dos pontos de origens e destinos, e pontos de transferências ou armazéns. Noutros casos, os problemas podem receber tratamento simplificado, dando prioridade à respostas rápidas, com soluções aproximadas e diversas alternativas para análises.

2.4.1 Métricas logísticas

Nos problemas de entregas estão relacionados: uma rede de transporte, a localização geográfica das instalações, além de condicionantes espaciais e temporais. Uma solução simplificada, de modo a facilitar o processo de análise e tomada de decisões através do uso de símbolos e elementos gráficos é importante, pois através dessas representações é possível estabelecer formulações matemáticas para resolução de problemas de transportes e instalações físicas abrangidas pelo sistema logístico.

Na área urbana, o transporte faz uso das ruas, avenidas e cruzamentos, os quais formam a rede de infra-estrutura viária. Duas formulações tem sido comumente empregadas em problemas logísticos. A primeira, conhecida como métrica euclidiana, refere-se a distância em linha reta entre dois pontos, muito utilizada na fase de planejamento, na estimação da localização geográfica de depósito e clientes em potencial. Outra é a métrica retangular, com distância entre dois pontos seguindo dois eixos ortogonais x, y.

2.4.1.1 Euclidiana

Numa rede de transporte, posiciona-se um sistema de coordenadas na origem (0,0), destacando-se dois pontos (A e B) sob este sistema, com coordenada (x_A, y_A) e (x_B, y_B) , respectivamente.

Há vários caminhos a percorrer entre os dois pontos. No entanto, a menor distância obtida é um segmento de reta, conhecido como distância euclidiana. Na Figura 2.2 é representada por uma linha tracejada. A distância euclidiana DE_{AB} entre A e B é dada pela expressão:

$$DE_{AB} = [(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2]^{1/2} \quad (1)$$

FIGURA 2.2 – Distâncias euclidiana e real

A distância euclidiana é empregada na maioria dos problemas reais de transportes, por ser útil para os cálculos matemáticos e de fácil aplicação (NOVAES, 1989), por exemplo localização de unidades de instalações. Essa medida é sempre menor ou igual a distância real, logo deve ser usada com cautela, haja vista que em alguns casos essa diferença é significativa.

2.4.1.2 Retangular

Em situações onde a rede de transporte é representada no formado retangular, com linhas transversais e perpendiculares, a distância entre dois pontos A e B sobre esta rede é obtida como ilustra a Figura 2.3.

A distância entre os dois pontos A e B, ao longo dos segmentos da rede, pode ser obtida por diferentes caminhos, desde que seja obedecido um mesmo sentido de deslocamento com relação aos sistema de coordenadas xy. Esta métrica é conhecida como distância retangular, e pode ser calculada pela expressão:

$$DR_{AB} = |x_B - x_A| + |y_B - y_A| \quad (2)$$

FIGURA 2.3 – Distância retangular

2.4.2 Correspondência entre as distâncias

As redes de transporte na sua maioria não seguem um padrão geométrico rigoroso. Diversos fatores de natureza histórica e geomorfológica influem na sua configuração, fatores como a sinuosidade das vias alteram as distâncias percorridas e podem comprometer os resultados se não forem levados em consideração.

As vias de transportes são inseridas ao longo do tempo na rede viária, a medida que vão sendo necessárias, ligando traçados antigos com outras de características mais modernas, o que pode causar um diferencial na velocidade percorrida. Além desses, fatores como vias de mão única, semáforos e restrições de velocidades e movimentos de giro à esquerda, à direita e de retorno em “U”, também afetam a distância a ser atravessada.

Num estudo feito por NOVAES³ apud NOVAES (1989) para a cidade de São Paulo, tomando uma amostra de 57 pares de pontos localizados na malha urbana, encontrou-se a seguinte relação entre a distância em rede (DR) e distância euclidiana (DE):

$$\overline{DR} = 0.81 + 1.36 \times \overline{DE} \quad (3)$$

com $R^2 = 0,95$ e distâncias medidas em quilômetros.

2.5 Caracterização da distribuição

A administração das atividades de distribuição encontra diversos problemas relativos à tomada de decisões nos três níveis de planejamento das organizações: *estratégico*, *tático* e *operacional*. A definição da localização de instalações é decisão em nível estratégico, enquanto que os problemas de determinação do tamanho da frota, em nível tático. E a definição de rotas de sequência de visitas fica a cargo do planejamento operacional.

BALLOU (1995) descreveu de forma sucinta os três níveis de planejamento; o estratégico molda a distribuição e decide a configuração global do sistema a longo

prazo, como problemas relativos à localização e *layout* de depósitos, armazéns, fábricas; o planejamento tático trata da utilização eficiente dos recursos da distribuição, decide sobre o nível de cargas a movimentar e armazenar e sobre o uso do equipamento de transmissão de pedidos, e problemas de dimensionamento de frotas; o planejamento operacional trata da supervisão e execução das tarefas diárias, e decisões referindo-se à rotas e programas de veículos e tripulação de tais veículos.

BODIN et al. (1983) ressaltaram que as decisões nos três níveis de planejamento não podem ser vistas de forma separada, devido a proximidade de interação entre estes. A localização de fábricas, armazéns e garagem são dados de entrada para decisões dos transportes. Assim como tais decisões nos transportes são utilizadas na avaliação dos custos de distribuição ou movimentação entre as várias localizações geográficas das instalações.

A distribuição de bebidas é particularmente complexa, devido à variedade de funções de distribuição envolvidas. As duas maiores funções de distribuição exclusivas desta especialidade são: entrega das bebidas diretamente aos consumidores, chamada de pré-venda, que envolve a entrega do produto que foi encomendado pelos clientes (demanda conhecida); e entrega realizada pelos motoristas, que vende o produto em sua rota de acordo com a demanda, expressa por dados históricos, neste caso, a definição de roteiros de seqüências de entregas apresenta maior grau de complexidade.

A forma operacional desses serviços varia de acordo com os objetivos da empresa e tipo de mercadoria transportada, podendo ser apenas coleta, apenas entrega ou mista. Essa caracterização é necessária à definição dos procedimentos a serem adotados na operação de veículos e tripulações. No geral, os diferentes problemas logísticos de distribuição podem ser agrupados segundo o tipo de transporte, características operacionais e finalidades do serviço prestado, os quais são:

³NOVAES, A.G. (1970). Demanda e custos de transporte de calcários no rio Tietê. *III Congresso de transporte marítimo e construção naval*, Porto Alegre apud NOVAES, A.G. (1989). *Sistemas logísticos: transporte, armazenagem e distribuição física de produtos*. São Paulo, Edgard Blücher.

- Transporte de passageiros;
- Prestação de serviços com atendimento domiciliar;
- Distribuição de mercadoria.

Esses serviços são necessários tanto para o setor público quanto para o privado, seja para deslocar pessoas ou objetos. Esses serviços são ofertados de forma diversificada, atendendo a determinada demanda, por exemplo: serviço de transporte escolar, carona programada, coleta de resíduos domiciliares, hospitalares, serviços de correios, varrição de rua, distribuição de bebidas, jornais, remédios etc. São diferenciados pelas características de seus componentes, os quais são classificados da seguinte forma:

- Clientes: incluem todos os que se beneficiam dos serviços de distribuição, em função da respectiva localização, horário de atendimento e demanda pelo produto ou serviço, que pode ser determinística ou estocástica.
- Operação: corresponde às atividades do sistema de distribuição, podendo ser de coleta, entrega ou mista, dependendo do cenário em questão.
- Rede de transportes: são todos os elementos (arcos, nós e áreas) que descrevem todo o espaço urbano, isto é, divisão em zonas de entrega, localização dos clientes, das fábricas, dos armazéns, forma e densidade das zonas etc.
- Frota: é composta de todos os veículos que servem ao sistema de distribuição, pode ser própria ou alugada, homogênea ou não, com carroceria aberta ou fechada.
- Armazéns: são os pontos principais da distribuição, onde se concentram todas as cargas antes de chegar ao consumidor final. Devem ser localizados de forma a não comprometer os custos logísticos.
- Restrições: são limitantes operacionais, que eventualmente ocorrem nos problemas logísticos como: tempo de operação e capacidade dos veículos, horário de entrega.

Os serviços de entregas e/ou coletas são delimitados por uma região geográfica, a qual é dividida em zonas; pelos veículos, alocados um a um para cada zona; os clientes; um plano de operação; objetivos a serem atingidos e restrições. Conforme NOVAES (1989), o planejamento e operação têm as seguintes etapas:

- dividir a área atendida em praças (zonas) de serviços, com fronteira rígida ou não, dependendo de situações específicas;
- selecionar o veículo e respectiva tripulação, para cada zona;
- traçar a seqüência de entrega com quilometragem média para cada veículo;
- fornecer os horários de atendimento;
- quantificar os custos;
- estabelecer a freqüência ideal de serviços;
- estacionar e movimentar os veículos em áreas de alta taxa de ocupação.

2.5.1 Formulação do problema de entregas de bebidas

A distribuição de bebidas, atividade comumente vista nos centros urbanos, tem algumas características desta especialidade semelhantes à distribuição de remédios, alimentos, água mineral e gás engarrafado, no que diz respeito a horários de visitas e pontos de vendas preestabelecidos. Normalmente, o vendedor coleta os pedidos, retornando dentro de dois dias com a mercadoria. Esse procedimento exige eficiência no processamento de pedidos e de entregas

No entanto, esta especialidade deve receber tratamento especial, em virtude de algumas diferenças básicas que esta tem com relação a outros serviços de distribuição, como: tipo de carroceria, forma, peso e volume dos bens transportados, o grande número de pontos de vendas (mercearias, bares, restaurantes, lanchonetes, padarias, supermercados etc.) e,

sua constante alteração, podendo influenciar sobremaneira a produtividade destes serviços.

Os veículos são compartimentados, podendo ser abertos ou fechados. A carroceria aberta é mais utilizada no transporte fábrica-depósito por acomodar melhor os vasilhames cheios. A carroceria fechada é mais adequada para transportar vasilhames vazios.

Os produtos podem ser divididos em dois grupos: com retorno e sem retorno. No primeiro, a embalagem é reciclada e retorna ao consumidor, medida em dúzias. Na segunda, a embalagem é descartável, medida em quantidade de caixas.

O problema de entregas de bebidas abrange pontos de vendas sobre uma rede viária, clientes dispersos geograficamente, com localização e demanda, expressa em peso da mercadoria, previamente definidos. Em alguns casos, são exigidas janelas de tempo, para o cumprimento de horários preestabelecidos pelos clientes. Dada uma frota disponível é necessário a formulação do problema que defina os roteiros e sequência de entregas de maneira eficiente. Pode ocorrer, em alguns casos, variação na localização de clientes, numa dada região, seja porque o estabelecimento foi fechado ou porque mudaram de endereços.

O nível de serviço da distribuidora de bebidas, em virtude de algumas características, é medido pelo tempo mínimo para descarga e capacidade dos veículos (limite de peso). O tempo de descarga é importante, visto que, segundo filosofia da empresa, deve ser delimitado por um limite inferior, no qual o bom nível de serviço é mantido e por um limite superior, que indica a eficiência do sistema. A cada ponto de venda ocorre uma operação de entrega das bebidas e coleta dos vasilhames vazios e engradados. Além de outros fatores, a minimização da quilometragem rodada também mede a eficiência nos serviços, dado o nível de serviço oferecido pela distribuidora. Muitas vezes, grande parte das operações de entregas são realizadas por serviços de terceiros, transportadoras que são remuneradas em função da quilometragem percorrida.

O problema de entregas de bebidas pode ser formulado como um problema de cobertura de nós, com vários veículos e um depósito, sendo necessário à definição de roteiros e seqüência de entregas:

- dados de entrada
 - pontos de destino (bares, restaurantes, lanchonetes, padarias, supermercados etc.);
 - pontos de origem (depósito);
 - uma frota de veículos;
- restrições
 - capacidade dos veículos (medido em termos de peso da carga, no caso da entrega de bebidas);
 - horários de entregas, em que o estabelecimento permanece aberto;
 - tempo mínimo para realizar a descarga, que é fixo e praticamente o mesmo em todos os pontos;
 - tempo máximo da jornada de trabalho;
- objetivos
 - traçar rotas de entrega, visando minimizar quilometragem média dos veículos obedecendo às restrições impostas;
 - estabelecer seqüência correspondente ao percurso total mínimo.

2.6 Restrições operacionais da distribuição

A operação de coleta e/ou entrega encontra vários impedimentos ao fluxo eficiente e seguro das mercadorias. Primeiro, devido as características operacionais, e segundo,

pelo fato de na maioria das vezes, abranger os centros urbanos, onde os limitantes na rede são mais acentuados, dificultando o fluxo das mercadorias ao longo dos *links*.

Estes obstáculos podem ser, então, agrupados de duas maneiras. Primeiro, os fatores inerentes a rede viária, onde as interações com o sistema viário podem causar restrições relacionadas ao fluxo em rede, e segundo, relacionados com a natureza operacional da distribuição. Este último pode ainda ter condicionantes físicos e temporais, ocorrendo, muitas vezes, de forma aleatória e, quando não considerados, podem comprometer os resultados.

2.6.1 Características e dificuldades de fluxos em rede

A maioria dos problemas de roteirização podem ser formulados como problemas de fluxo em rede. Interações com o sistema viário, podem causar restrições relacionadas à rede de transporte. Conforme CAMARGO (1993), um conjunto de rotas viárias, integradas num sistema que interliga centros econômicos (vértices), em um dado espaço, serve de meio de intercâmbio de estoques físicos (mercadorias, veículos, pessoas). O intercâmbio de estoques físicos entre os vértices ocorre em movimentos permanentes, os fluxos, os transportes propriamente ditos. Fluxo significa, portanto, a medida do volume e a direção do movimento de mercadorias e pessoas, através de rotas viárias.

O estudo do fluxo entre dois pontos pode considerar fatores como população, distância, custo, e outros. Num estudo desenvolvido por GAUTHIER⁴ apud CAMARGO (1993) sobre *fluxos de menor custo* na rede rodoviária do estado de São Paulo, identificou-se que a rede era composta por trechos pavimentados, trechos recobertos com cascalho e em terra. E, que o primeiro representava os menores custos para o transporte de cargas.

Ainda neste mesmo trabalho, foram selecionados três nós importantes: São Paulo, Ribeirão Preto e Bauru, entre 150 vértices significativos, para determinar as distâncias

⁴GAUTHIER (1960) apud CAMARGO, P. (1993). Desenvolvimento e organização das redes de transporte: modelos de análise selecionados e aplicados ao Estado de São Paulo. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo.

dos caminhos de menores custos. O trecho com o menor número de nós apresentou-se como o de custo mínimo de distância em rede.

2.6.2 Limitações do sistema

As restrições de natureza espacial dizem respeito às características físicas da carga e capacidade dos veículos. O tipo de veículo, compartimentado ou não, está limitado pelo peso e/ou volume da carga.

O máximo carregamento a ser transportado pelos veículos, por sua vez, é especificado pelo fabricante e pelas normas técnicas de utilização das vias, quanto aos limites de cargas permitidos, estabelecendo o carregamento por eixo.

O tempo gasto depende, dentre outros fatores, da velocidade e distância percorrida, densidade e distribuição dos clientes, forma das avenidas e ruas, características topográficas e condições do tráfego. Assim, problemas de circulação, dificuldades de estacionamento, carga, descarga, tudo leva ao aumento do tempo total na operação de coleta e/ou entrega.

Consoante NOVAES e ALVARENGA (1994), o número de pontos de entregas pode ser determinístico ou aleatório. No caso de ser aleatório esse número segue a distribuição de Poisson e apresenta a seguinte fórmula para dimensionar o carregamento, quando o limitante é o volume de carga:

$$w = u_1 + u_2 + u_3 + \dots + u_N \quad (4)$$

onde:

w = é o somatório do volume total ocupado pela carga;

u_i ($i=1,2,\dots,N$) é o volume total ocupado por cada tipo de mercadoria;

N = é o número de ponto de entregas;

As restrições de natureza temporal estão relacionadas a tudo que demanda tempo de processamento. Por exemplo, jornada de trabalho de motorista e tripulantes, horários de entrega estipulado pelo cliente. A jornada de trabalho é regida por lei e acordos trabalhistas com sindicatos. Existe um valor limite, que acima deste a empresa começa a pagar hora extra. Além disso, existe um limite de desgaste físico e psíquico, que interfere na produtividade do trabalhador.

2.7 Transporte urbano de cargas

O transporte urbano de cargas pode ser entendido como a movimentação de produtos e/ou serviços, criada pelas atividades econômicas de produção e consumo das unidades produtivas estabelecidas numa área urbana.

No sistema logístico, o subsistema transportes tem importância considerável por ser um dos principais responsáveis pelos custos e nível de serviço. Ele absorve, em média, de um a dois terços dos custos logísticos. É essencial, pois qualquer unidade produtiva necessita movimentar, tanto a matéria-prima quanto o próprio produto acabado, fornecendo-os onde são necessários.

Segundo MAGEE et al. (1985), no contexto da logística de distribuição, os transportes incluem os movimentos do fornecedor para a indústria, da indústria para o armazém, do armazém para outro armazém, e deste para o consumidor. As características chave do transporte são custos, velocidade e confiabilidade.

A eficiência das atividades do transporte de cargas depende de vários fatores, tais como: qualidade da infra-estrutura de transporte, das condições do tráfego, do modal de transporte, do uso e ocupação do solo etc.

2.8 Sistema urbano de cargas

O processo de distribuição inclui várias alternativas de transportes. Cada uma dessas alternativas envolve atividades e participantes. São objetos de negociação e até mesmo

de contratos entre o remetente e o destinatário. Além do modo de transporte utilizado e tipo de carregamento, a escolha, por uma ou outra alternativa, também exerce papel substancial no preço e qualidade final dos serviços. Segundo OGDEN (1992), os principais participantes são: remetentes, receptores, despachantes, motoristas, transportadoras, operadores de terminal e empresas diversas de transportes, governo, autoridades do tráfego e de estradas. Os despachantes e órgãos governamentais trabalham de forma diferenciada no setor público e no setor privado. Notou-se, no entanto que nos dois setores, os transportadores atuam da mesma forma, sendo responsáveis pela roteirização de veículos e escala de tripulações, custos e nível de serviço, tamanho e tipo da frota.

No setor privado, os expedidores cuidam do gerenciamento e planejamento da produção, enquanto que os órgãos governamentais atuam como reguladores das atividades, priorizando ações de gestor e indutor. No setor público, os expedidores se ocupam da qualidade e da prioridade dos serviços ofertados.

E ainda, segundo este mesmo autor, o remetente é o principal responsável pela organização do transporte da carga e uma vez gerada a carga, ele tem três opções, como esclarece a Figura 2.4.

Na primeira alternativa, o transporte das vendas é feito com a própria frota diretamente ao receptor. As várias razões que levam uma empresa a utilizar seus próprios veículos, em vez de usar uma transportadora ou um despachante de carga são: segurança, controle, relações comerciais, velocidade da entrega, flexibilidade e custo.

A segunda escolha do remetente é contratar uma transportadora para realizar a tarefa. A transportadora coleta as mercadorias do remetente e quando o veículo está totalmente carregado dirige-se para o destinatário, operação conhecida como porta a porta. Entretanto, se o veículo não está completo, dirige-se a carga ao terminal (depósito) da transportadora onde, agrupada com outras mercadorias, irá para o destinatário de modo isolado ou em conjunto com outras mercadorias. Para entregas na mesma área, normalmente, é envolvida apenas uma operação de terminal, mas se a área de

atendimento é outra, provavelmente ocorrerão outras operações, como coleta no terminal de origem e entrega no terminal de destino. O processo, no terminal de destino, é inverso; as mercadorias recebidas são agrupadas e as remessas individuais serão entregues para cada destinatário numa rota de distribuição. O movimento de uma área urbana para outra área é denominada de transbordo e pode envolver vários modos de transporte como caminhão, trem, navio e avião.

A terceira escolha do remetente é utilizar os serviços de um despachante de carga. Este é o intermediário entre o remetente e o transportador. O expedidor pode possuir, ou não, a sua própria frota, isto é, ele pode ser apenas um agente intermediário em busca de carga para dar apoio a seu cliente ou ser considerado (em nível intraurbano) como empresa de transporte. O papel essencial do expedidor é consolidar as cargas dos diversos remetentes para obter a vantagem de economia de escala. No nível interurbano, pode ocorrer uma operação multimodal. No nível urbano os mais sofisticados expedidores estão cada vez mais assumindo responsabilidades junto ao remetente (uma indústria ou rede de supermercado) e não apenas transportes. A execução eficiente dessas atividades depende, além de outros fatores, da correta caracterização dos problemas e dos responsáveis envolvidos no sistema.

FIGURA 2.4 – Processo de movimento de cargas

Fonte: OGDEN (1992)

2.9 Custos operacionais de transportes

A viabilidade de um determinado serviço de transporte é delimitada através de análises do desempenho econômico do mesmo, no qual levantamentos de despesas são feitos. Esses custos variam em função de cada empresa, porém a estrutura básica de custos é a mesma na grande maioria das empresas de transportes de cargas. O conhecimento destes custos é fundamental à política de preço do serviço e indispensável nas tomadas de decisões.

Fatores como custos de combustível, maiores custos de capital, substituição de veículos e salários para equipes tem causado um aumento na porcentagem de custos operacionais totais devido as atividades ligadas à definição de rotas e seqüências. Na distribuidora de bebidas, os custos de operação correspondem a 23,70% de caminhões de rota, 11,10% de veículos de reboques e 9,76% vans, 5,47% caminhonetes e 8,67% outros tipos de veículos, segundo estudo feito por ZIMMERMANN⁵ apud GOLDEN & WASIL (1987), em 1985.

Os custos operacionais de uma empresa de transporte de cargas, compõem-se de duas parcelas principais: custos administrativos e de operação de terminal e custos de transferência. Os custos de transferência correspondem a despesas do transporte propriamente dito e estão subdivididos em duas partes. Os custos fixos, que são relativos a despesas de operação dos veículos, não variam com a distância percorrida, enquanto os custos variáveis aumentam com a distância percorrida. As despesas administrativas e de terminal são pertinentes à gerência da empresa e a operação de terminal de carga, ou seja, são aquelas que não estão diretamente ligada ao processo de deslocamento do veículo para transferência e entregas.

⁵ZIMMERMAN, A.(1985). Higher volume, costs expected in 1985. *Beverage industry*. n. 1 p.25-27 apud GOLDEN, B. L.; WASIL, E. A. (1987). Computerized vehicle routing in the soft drink industry. *Operations Research*, n.35, p.6-17.

A quilometragem desenvolvida e porte dos veículos, a inconsistência e desequilíbrios nos fluxos, influem nos custos variáveis de operação da frota. As despesas por quilômetro diminuem quanto mais o veículo rodar, pois as despesas fixas são divididas pela quilometragem [considerando que o veículo desenvolva a velocidade econômica de rodagem]. O aumento da velocidade pode influenciar no consumo de combustível, de pneus e de manutenção, retirando a vantagem obtida com a nova quilometragem. Nos centros urbanos, os veículos gastam mais combustível por quilômetro rodado e tem maior desgaste do que em áreas não urbanas. As despesas por tonelada/quilômetro transportada aumentam com a diminuição da capacidade do veículo disponível. Outro fator de variação nos custos é o desequilíbrio nos fluxos. O tráfego de veículos vazios reduz os custos em alguns aspectos, mas aumenta em outros. O retorno vazio ou com ociosidade superior à média aceita, gera acréscimo no frete-peso. O frete-peso aplicado no percurso corresponde a distância de ida da origem até o pólo de distribuição, mais a volta deste, ao destino da carga. No caso dos transportes de passageiros, que costumam ser pendulares, estes custos são amenizados, o que geralmente não ocorre no transporte de cargas.

O transporte de cargas, por ser uma atividade econômica, fundamenta-se na geração de receita, que proporcione a empresa a remuneração dos custos do serviço prestado, gere algum lucro operacional e compense os riscos desta atividade. O frete, que antes era visto como uma sobrecarga necessária, está indicando que a atividade de distribuição pode adicionar valor aos produtos ou serviços vendidos.

Conforme a definição de GATTORNA⁶ apud ARRUDA (1996), “**valor** é a quantia que um consumidor está desejando pagar pelos produtos ou serviços fornecidos por uma organização. **Valor agregado** é a diferença entre o que o consumidor paga e o custo para a organização de fornecer aquele produto ou serviço.”

⁶ GATTORNA, J. L. (1990). Adding value through managing the logistics chain. In *handbook of logistics & distribution management*. Edited by John L. Gattorna. Gower Publishing Company apud ARRUDA, J.B.F. (1996) Logística eficiência e competitividade empresarial. Notas de aula. Universidade Federal do Ceará.

CAPÍTULO 3

3. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIGs)

Este capítulo é dedicado aos Sistemas de Informação Geográfica e inicia definindo-os e caracterizando-os. Em seguida, descreve as diferenças entre os sistemas SIGs, CADs, AM/FM. Relata a evolução histórica dessa tecnologia, enumerando os principais componentes destes sistemas e a forma como os dados são representados. Posteriormente, lista diversas aplicações dos SIGs nos transportes, em especial na roteirização de veículos e as fases de implantação destes, objetos de estudo deste trabalho.

3.1 Definição e características

Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são a junção do mapeamento computadorizado com gerenciamento de bases de dados. *Geoprocessamento* pode ser definido como um conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. De forma mais abrangente, SIG é um sistema que armazena dados geográficos, extraídos do mundo real, com o objetivo de simular situações específicas, através da manipulação e análise desses dados. Sua característica chave é a análise dos dados gerando novas informações.

Uma definição bastante coerente foi dada por DANTAS et al. (1996). Segundo estes autores, SIG é um sistemas de informação que relaciona de forma interativa e sistêmica, tecnologia, banco de dados e pessoal capacitado a realizar análises espaciais e armazenar, operar e visualizar dados georeferenciados para obtenção de novas informações. Esta concepção de SIG é mostrada na Figura 3.1.

FIGURA 3.1 – Elementos de um sistema de informação geográfica.

Fonte: DANTAS et al. (1996).

Para CÂMARA (1994) estes sistemas destinam-se à manipulação de informações, apresentadas na forma de dados referenciados espacialmente e de atributos. Além da possibilidade de lidar com diversas projeções cartográficas, eles possuem capacidade de tratar as relações espaciais entre objetos (identifica a topologia destes), conseguidas através de algoritmos. Portanto, trata-se de uma poderosa ferramenta para modelagens e simulações em redes.

Numa visão geral, os SIGs reúnem as seguintes características:

- Capacidade para processar dados espaciais proveniente de fontes diversas, levantamento de campo (topográficos, geodésicos, cadastrais), mapas e sensoriamento remoto (fotografias aéreas, imagens orbitais), numa mesma base cadastral;
- Habilidade no armazenamento, recuperação, atualização e cruzamento de informações, através de procedimentos analíticos, possibilitando diversas tarefas;
- Possibilidade de manipulação, visualização e saídas gráficas para o conteúdo da base de dados geocodificados;

- Possibilidade de visualização e impressão dos dados gerados, em forma de mapas, tabelas e gráficos.

3.2 Evolução histórica

O desenvolvimento das ciências naturais como a geologia, geomorfologia, ciências do solo e ecologia, ocorrida no século XX, incentivou o desenvolvimento de sistemas que suprissem a crescente demanda por mapas topográficos e mapas temáticos. As fotografias aéreas e sensoriamento remoto possibilitaram a confecção de mapas de grandes áreas com excelente precisão. Os mapas temáticos resultantes tornaram-se, então, uma importante fonte de informações para exploração, reconhecimento, mapeamento e manejo dos recursos naturais.

As primeiras tentativas de fundamentação teórica de um SIG surgiram na década de 40, que foi marcada pelo início da era computacional, com rápidas transformações tecnológicas estimulando sobremaneira o avanço da Geociências, como também, o desenvolvimento de modelos complexos e alternativos para simulação de eventos futuros.

O estudo dessas ciências, todavia, requer observação, classificação e armazenamento de informações. Métodos qualitativos de classificação e mapeamento sistemáticos eram inimagináveis, até então, devido às enormes quantidades de dados complexos gerados pelos levantamentos ambientais. A falta de ferramentas matemáticas apropriadas para a descrição de variações espaciais quantitativamente, também era um empecilho, que começou a ser solucionado na década de 40, paralelamente ao desenvolvimento dos métodos estatísticos e da análise de séries temporais. O progresso prático efetivo era ainda bloqueado pela falta de ferramentas apropriadas de computação.

A Geografia também passou por modificações, surgiu a corrente teórica metodológica denominada Geografia Quantitativa, cujas metas básicas são um maior rigor na aplicação da metodologia científica, uso de técnicas estatísticas e matemáticas, abordagem sistêmica e uso de modelos nas pesquisas geográficas.

Na década de 50 foram desenvolvidas projetos integrados de transportes, onde foram controladas informações relativas aos transportes, tais como viagens origem-destino e tempo de viagem. Um exemplo disso foi em 1955, quando a área metropolitana de Detroit, nos Estados Unidos, foi submetida a um estudo de trânsito para projeção de futuras necessidades de tráfego. Através de análises estatísticas foi possível prever futuros volumes de tráfego, valores que contribuíram para priorizar a construção de rodovias.

Durante os anos 60 e 70, novas tendências surgiram no sentido de que informações mapeadas fossem utilizadas para a determinação de estoque de recursos naturais, avaliação de terras e planejamento. Sabendo que os diferentes aspectos da natureza não funcionam independentemente uns dos outros, os estudiosos começaram a analisá-los de forma integrada, interdisciplinar, criando os primeiros programas de computador para esse fim, que posteriormente, vieram a se chamar Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Em 60, as pesquisas tornaram-se mais específicas na criação dos SIGs. Por volta de 1959, a Universidade de Washington elaborou métodos estatísticos e rotinas computacionais para mapeamento da cidade, resultando na criação de um centro de pesquisa e desenvolvimento de SIGs.

Dentre as pesquisas precursoras dos anos 60, destacou-se a utilização de modelos para estudo de dados censitários na Inglaterra, tanto na área acadêmica como também nas instituições públicas. Nos Estados Unidos, destacou-se a criação de bancos de dados urbanos para auxiliar no processamento de dados pelos órgãos públicos.

O primeiro pacote computacional a funcionar como um verdadeiro SIG e, assim ser intitulado, foi o *Canadian Geographic Information System (CGIS)*, criado em 1966, por R. Thomlinson, na Universidade de *Harvard*. A popularização dos microcomputadores e o aumento de sua capacidade de processamento nos últimos anos, possibilitaram aos SIGs rápida difusão, incentivando a criação de novos "pacotes" computacionais e a sua utilização em inúmeras aplicações, que não se restringiu a geógrafos e cientistas ligados ao estudo da terra. Seu campo de aplicação tornou-se bastante amplo e variado, sendo encontrado em atividades diversas como

na cartografia, sensoriamento remoto, geografia, gerenciamento ambiental, planejamento urbano etc., como também, nos estudos ligados a exploração e preservação de recursos naturais.

Ainda na década de 1960 surge, nos Estados Unidos, o primeiro SIG direcionado ao gerenciamento dos recursos naturais. Nesta mesma época, o Serviço de Saúde Pública automatiza a Divisão de Fornecimento de Água e Controle da Poluição, uniformizando e fornecendo dados aos diferentes órgãos públicos. CALIJURI & RÖHM (1994) observaram a preocupação das agências governamentais responsáveis pelo meio ambiente, em mapear suas reservas naturais, além de tornar possível múltiplas análises de muitos dados de forma rápida.

A ampla divulgação dos SIGs aconteceu na década de 70. A partir deste período, quando a mais nova tecnologia aceita para aperfeiçoamento do processo de geração de mapas eram os CAMs (Computer Aided Mapping), a sigla GIS (Geographic Information System) foi, então, popularizada.

O rápido crescimento técnico e um maior interesse no desenvolvimento dos SIGs, ocorrido na década de 80, tornaram estes sistemas integrados nos setores industrial e comercial. Também foram feitas críticas diferenciadas entre sistemas CAD, DBMS, SIG e outros. Conforme PAREDES (1995), na Universidade de *Harvard*, a computação gráfica e análises espaciais implementaram o desenvolvimento do SIG. Muitos *softwares* de SIG foram criados e distribuídos para construir os mais diversos aplicativos.

E na década de 90, os grandes avanços na área de *hardware* e, sobretudo, dos modelos e metodologias dos aplicativos, evidenciaram o domínio do uso da informação nos diferentes campos da atividade humana.

Hoje, presencia-se uma pulverização dos SIGs nas mais diversas áreas. Seu uso está revolucionando a forma de tratamento dos complexos problemas de planejamento, gerenciamento e de tomadas de decisão, em especial, nos transportes.

3.3 Diferenças dos SIGs, CAD (*Computer Aided Design*), CAM (*Computer Aided Mapping*) e AM/FM (*Automated Mapping/Facility Management*).

Algumas características usadas para definir os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) em muito, se aplicam aos sistemas, *CAD*, *CAM*, *AM/FM*. Estes também trabalham com dados digitais geograficamente referenciados e são utilizados para a captura, o armazenamento, edição, exibição e a impressão de dados referenciados. (PEIXOTO, 1997).

Todavia, diferentemente dos outros, os SIGs possuem uma estrutura flexível de dados, baseada em relações topológicas. Esta propriedade descreve as conexões entre as entidades lineares, os perímetros e as relações de contiguidade das áreas de um mapa, além da sua localização e geometria.

Os SIGs são os mais adequados para a análise de dados geográficos. Além de referenciar os elementos gráficos a um sistema de coordenadas e separar as entidades do mapa em camadas, (Figura 3.2) similarmente aos *CAD* e *AM/FM*, eles também associam atributos gráficos e não gráficos da superfície terrestre.

Os sistemas *CAD* e *CAM* são utilizados para a produção de mapas. Substituem o processo cartográfico tradicional, podendo reduzir muito o tempo e o custo de produção de mapas. Os dados são organizados em camadas e referenciados a um sistema de coordenadas comum. Estas camadas podem organizar de forma temática as entidades gráficas do mapa (rio, estradas etc.), ou classificar os tipos de elementos gráficos (linhas, pontos, áreas, texto etc.). De forma abrangente, nestes sistemas, os dados são meros desenhos e mapas eletrônicos, construídos por recursos gráficos, definidos por parâmetros matemáticos, discriminados em símbolos geométricos e armazenados em forma de mapas e gráficos.

O sistema *CAM* não é capaz de fazer análises com os dados de um mapa. Apesar da base de dados destes poder descrever a geometria de duas rodovias que se interceptam, o fato delas se interceptarem não pode ser identificado pelo sistema. Da mesma forma, grupos de linhas podem ser usados para compor polígonos, mas a base

de dados, não pode definir o fato de que eles formam áreas fechadas de um único polígono. Como a relação entre esses grupos de linhas se limita ao fato de pertencerem a uma mesma camada e estarem relacionadas a um mesmo sistema de coordenadas, sem definição de relações espaciais na estrutura de dados, um sistema *CAD*, não está preparado para reconhecer propriedade de conectividade entre as entidades. A Figura 3.3 ilustra estes sistemas.

Nos sistemas *AM/FM* (*Automated Mapping/Facility Management*), por sua vez, as entidades gráficas do mapa estão organizadas tematicamente em camadas e referenciadas a um mesmo sistema de coordenadas. Estes sistemas, no entanto, definem relações entre os componentes dos sistemas de serviços públicos que permitem considerá-los como redes (Figura 3.4). Uma rede identifica as conexões entre os elementos gráficos. Essas relações de conexão encontram-se geralmente definidas em um arquivo de dados separado. Ao contrário dos sistemas *CAD*, as interseções entre todos os elementos da rede devem ser preparadas para definir as conexões. A representação gráfica dos sistemas *AM/FM* não é tão precisa ou detalhada quanto a de um sistema *CAD*. A característica principal destes sistemas está no armazenamento e análise dos dados e emissão de relatórios a partir de dados armazenados nos mesmos.

Uma outra característica importante dos sistemas *AM/FM* é que permitem a associação dos atributos alfanuméricos (armazenados em arquivos separados) às respectivas entidades gráficas por meio de um único número de identificação. Devido a essas duas características, estrutura de rede e associação de atributos alfanuméricos às entidades gráficas, estes sistemas são capazes de modelar e analisar operações na rede de infra-estrutura viária. Portanto, em um *AM/FM*, duas linhas do mesmo tipo de elemento não podem se interceptar em mais de uma interseção.

A principal diferença está na capacidade dos SIGs de estabelecer relações topológicas entre os elementos gráficos, descrevendo não só a localização e a geometria das entidades de um mapa, como também as conexões entre as entidades lineares, os limites e áreas contíguas de um mapa. Para definí-las, o SIG utiliza uma estrutura de base de dados especial.

Adicionalmente aos dados espaciais e geométricos, o SIG possui atributos alfanuméricos. Esses atributos alfanuméricos estão associados aos elementos gráficos (nós, linhas e áreas) e fornecem informações descritivas sobre eles.(Figura 3.5). O grau de resolução destes na tela do computador e impressão gráfica dependem da forma de representação destes elementos, como será visto mais adiante. O SIG é projetado de modo a permitir exames de rotina, tanto na base de dados espaciais como alfanuméricos. O usuário é capaz de procurar dados alfanuméricos e relacioná-los com entidades espaciais e vice-versa. É este tipo de capacidade que não pode ser fornecida normalmente pelos sistemas *CAD* e *AM/FM*.

FIGURA 3.2 – Camadas de dados armazenados em um SIG

Fonte: (www.iwr.msu.edu/edmodule/gis/)

FIGURA 3.3 – Características de um CAM

Fonte: KORTE (1992)

FIGURA 3.4 – Características de um sistema AM/FM.

Fonte: KORTE (1992)

FIGURA 3.5 – Características de um sistema SIG

Fonte: KORTE (1992)

3.4 Estruturas de representação dos dados

A forma como o *software* armazena os dados e representa-os na tela é de grande importância para o tipo de análise espacial que se pretende conduzir, razão pela qual existem no mercado programas com diferentes preços e propriedades, baseadas em dois formatos de representação de dados espaciais: *Raster* e Vetorial.

Os Sistemas *Raster* dividem o espaço geográfico em células retangulares, sendo as informações de cada célula descritas no banco de dados. Noutras palavras, o espaço é tratado em forma de matriz, onde cada célula da matriz contém uma unidade de informação. Isto acarreta perda em exatidão e detalhes, mas ganha em facilidade de manipulação no ambiente computacional, uma vez que, para armazenar dados em matrizes é mais adequada a estrutura da matemática computacional.

O modelo vetorial se caracteriza pela locação precisa dos objetos geográficos através de coordenadas, sendo os objetos representados por pontos, linhas ou polígonos. Este formato tem como principais vantagens a sua excelente precisão matemática, perfazendo boa definição dos contornos dos objetos e economia de espaço para armazenamento das informações.

Estas qualidades do formato vetorial o tornam mais recomendável para o uso na área de cartografia, com desvantagem de ser menos eficiente em promover operações algébricas e sobreposição de mapas, o que pode ser feito de maneira bastante rápida na estrutura *Raster*.

A diferença básica entre a estrutura *Raster* e vetorial está no modelo de espaço adotado. Enquanto a estrutura vetorial considera o espaço contínuo, seguindo postulados da geometria euclidiana, a estrutura *Raster* divide o espaço em elementos discretos. Como as imagens de Sensoriamento Remoto também usam a forma matricial, sua interação com sistemas desse tipo fica facilitada.

Devido à afinidade entre a lógica da representação vetorial e a já conhecida produção de mapas, os sistemas vectoriais são mais adequados em aplicações de rede de infra-

estrutura viária, garantindo a produção de mapas e, predominantemente, o gerenciamento de banco de dados.

BRAVO & CERDA (1995) apresentaram as principais vantagens e desvantagens da utilização dos formatos *Raster* e *Vetorial*, mostrados na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 – Vantagens e desvantagens dos formatos *Raster* e *Vetorial*

Formato	Vantagens	Desvantagens
<i>Raster</i>	<p>Estrutura de dados simples</p> <p>Eficiência em análises de superposição de áreas</p> <p>Boa representação da variabilidade espacial</p> <p>Eficiência na manipulação de imagens digitais</p>	<p>Estrutura pouco compacta. Dificil representação das relações topológicas</p> <p>Saídas gráficas não bem delineadas</p>
<i>Vetorial</i>	<p>Estrutura de dados compacta</p> <p>Eficiência na representação e análise das relações topológicas</p> <p>Saídas gráficas bem definidas (traços)</p>	<p>Estrutura de dados complexa</p> <p>Dificil análise na superposição de áreas.</p> <p>Representação regular da variabilidade espacial Dificil análise de imagens digitais</p>

Fonte: BRAVO & CERDA (1995)

3.5 Componentes de um SIG

Conforme visto anteriormente, os SIGs podem ser considerados como um tipo de sistema de informação, que contém de forma sistêmica e interativa, banco de dados, tecnologia e pessoal capacitado. O banco de dados pode ser composto de informação geográfica e não geográfica. Essa tecnologia engloba um conjunto de *software* e

hardware. O pessoal representa aqueles que usam a tecnologia da informação para dar suporte as diversas atividades de planejamento e operação do sistema.

Para BURROUGH (1989) a base de dados geográficos pode ser considerada como um conjunto de entrada, processamento e saída de informações. De forma geral, é formada pela topologia, atributos e o posicionamento dos elementos, os quais fornecem subsídios para o sistema gerenciador de banco de dados recuperar e transformar dados em informações. A Figura 3.6 ilustra esta abordagem.

FIGURA 3.6 – Componentes da base de dados geográficos

Fonte: BURROUGH (1989)

Os autores TEIXEIRA, MORETI e CHISTOFOLETTI (1992) apontaram como componentes básicos dos SIGs (Figura3.7):

- Banco de dados: são constituídos de dados gráficos e tabulares. O primeiro corresponde à base cartográfica, representando forma e posição das entidades através de pontos, linhas e áreas, como características sócio-econômico e demográficos de população; do uso e ocupação do solo. O segundo tipo de dados são atributos de qualidade dessas entidades, por exemplo, forma das cidades, vias, interseções, posição de semáforos, pontes, logradouros; sentido das ruas etc.

- *Software*: é um conjunto de funções que atuam sobre a base de dados, produzindo as informações requeridas pelos usuários. Essas funções permitem os seguintes procedimentos:
 - converter diferentes tipos de arquivos;
 - mudar de escala e estrutura (*raster ou* vetorial);
 - mudar de projeção cartográfica, atualizar dados;
 - calcular áreas, distâncias, perímetro;
 - localizar entidade e listagem de seus atributos;
- *Hardware*: é o conjunto de equipamentos necessários para desempenhar a função de coleta de dados na forma digital, processamento e apresentação das informações. De maneira geral, a maioria dos sistemas admite vários periféricos, sendo os principais para entrada de dados: mesa digitalizadora, mouse, vídeo colorido, impressoras e plotters. Scanner, restituidores fotogramétricos, câmaras digitais, sistema de posicionamento global (GPS - *Global Positioning System*); para armazenamento: disquete, disco rígido, disco ótico (*CD-ROM, CD-WORM* e regravável), disco magnético-ótico. E finalmente, para exibição e saída: monitor de vídeo, impressora, plotter. A evolução da área de telecomunicações ensejou o surgimento do *MODEM*, empregado para a entrada e saídas automáticas de por via telefônica.

PAREDES (1995) incluiu, nesta enumeração, os usuários, como um importante componente por fazerem parte das análises complexas como de natureza espacial e a modelagem. São, geralmente, operadores experientes na seleção e uso das funções e recursos existentes nos SIGs e conhecedores do potencial destes sistemas.

FIGURA 3.7 – Componentes funcionais de um SIG

Fonte: adaptado de TEIXEIRA et al. (1992)

3.6 Aplicações dos SIGs nos transportes e logística de roteamento

Os SIGs podem ser utilizados pelos profissionais da área de transportes e logística, auxiliando nas análises e geração de informações oriundas de dados espaciais. Além da disponibilidade de recursos para armazenamento, gerenciamento e conversão dos dados para um conjunto específico de aplicações, estes sistemas facilitam o uso de uma mesma base cadastral para diferentes serviços que necessitam de dados geográficos, como por exemplo, a rede de infra-estrutura viária.

Nas firmas de distribuição, o uso de SIG no gerenciamento de recursos de processamento e de interação gráfica, por manusear informações de expressão espacial, tais como, a malha viária, zonas de atuação, posição dos clientes, das fábricas e dos depósitos, possibilitam considerar um maior número de restrições e utilizar uma mesma base de dados para múltiplas finalidades dentro da empresa.

De forma simplificada, os SIGs são aplicados nos transportes nos três níveis de planejamento: estratégico, tático, operacional. Em nível operacional estão questões dos transportes urbano e rodoviário de cargas, engenharia de tráfego e transporte coletivo urbano. No planejamento tático, os projetos estão centralizados no Transporte Coletivo, definição de zonas de análise de tráfego, transportes rodoviário e urbano de cargas. Análises sobre clientes em potencial, a imagem do setor junto aos clientes e aumento de receita estão a cargo do planejamento estratégico.

Conforme LOUREIRO e RALSTON (1996), no planejamento, gerência, operação e análise de sistema de transporte, os SIGs representam uma poderosa ferramenta que podem integrar funções básicas de um SIG às rotinas específicas de logística, pesquisa operacional e transportes em geral. Segundo eles, estas rotinas permitem, dentre outras funções, determinar a rota de menor impedância entre nós e distribuir viagens entre zonas, resolver problemas convencionais de roteamento e programação de veículos, localização de instalações, alocação de recursos em redes, alocação de tráfego.

No planejamento da distribuição, por sua vez, os SIGs podem ser aplicados nos três níveis de planejamento: estratégico, tático, operacional. Em nível estratégico, auxiliam na definição de toda a rede de depósitos, armazéns e fábricas. Decide número, tamanho e localizações, de acordo com a localização da demanda, reduzindo ao máximo custos com instalações. Seja reduzindo custo de transportes, ficando mais próximo da zona de demanda, seja reduzindo custos com instalações, estabelecendo a quantidade mínima necessária.

No planejamento tático, os SIGs são utilizados na gerência eficiente dos recursos da distribuição, decidido o nível de cargas a movimentar e armazenar e sobre o uso do equipamento de transmissão de pedidos, tais como problemas de dimensionamento

de frotas e, auxiliando nas estimativas de necessidade de armazenagem nos picos sazonais.

No planejamento operacional, os SIGs são eficazes na supervisão e execução das tarefas diárias, decisões, referindo-se aos itinerários de entrega e coleta, programação de viagens e carregamento de veículos.

Nesta etapa faz-se uso de mapas, em várias escalas, para inspeção visual da malha viária e de um grande volume de dados relacionados aos pontos de atendimentos, que podem ser fixos ou variáveis, os quais são representados em diversas camadas de papel, analisados e criados os roteiros e seqüências de entregas. O uso de sistemas com as características de um SIG, neste processo, traria rapidez e exatidão nos resultados.

GALVÃO et al. (1994) destacaram o uso dos SIGs no roteamento de veículos, por serem rápidos e pela constante atualização da base dos clientes, mostrando-a nos mapas correspondentes conforme endereços de cada cliente; por calcularem de forma precisa as distâncias reais percorridas e mostrarem as rotas realizadas nos respectivos mapas; podem ser obtidas, realizando estatísticas de interesse sobre um cliente ou conjunto de clientes a partir da base de dados dos SIGs, como também, ser mais efetiva a participação do usuário neste processo.

Neste mesmo estudo, os autores promoveram a integração de modelos computacionais de roteirização de veículos com os SIGs, através do *software* FazRota, extraíram dos mapas informações necessárias à aplicação desses modelos e, mostraram nos mesmos os resultados obtidos (rotas percorridas pelos veículos, estatísticas de interesse etc.).

Outro esforço de integrar a ferramenta à modelos de roteirização de veículos foi num estudo feito por BAAJ et al. (1995). Neste trabalho foi aplicada a tecnologia SIG na roteirização de veículos em duas abordagens. Primeiro, focalizaram o projeto e análise das redes de transporte para coleta diferenciada de resíduos de pneus no estado no Arizona. No segundo projeto, foi evidenciado o transporte e gerenciamento de carregamento de resíduos perigosos, na região de fronteira entre Estados Unidos e

México. Ambas as aplicações na roteirização de veículos tiraram vantagens da eficiência e produtividade da tecnologia SIG e foram implementados no *Software TransCAD*.

Outro exemplo de aplicação do SIG no planejamento logístico foi no trabalho de CHANG et al. (1997). Este autores utilizaram modelos de programação multiobjetivo associados à capacidade de análise espacial de um SIG, *ARC/INFO*, para analisar o caminho ótimo de veículos de coleta de resíduos sólidos, em Kaohsiung, situada ao sul de Taiwan.

No Brasil, ROSSETO e CUNHA (1994) aplicaram a tecnologia SIG na definição de roteiros e seqüências de entregas. Foi apresentando o *software GisPlus*, um SIG específico para Transportes, implementado com um algoritmo para resolução de problemas básicos de logística e roteirização.

DAVIS (1997) apresentou o algoritmo do caminho mínimo usado para aplicações em problemas de roteamento urbano, enquanto OLIVEIRA & RIBEIRO (1997) propuseram um sistema que utiliza SIG-T na produção de planos de sincronismo empregando o TRANSYT.

Outro trabalho aplicando a potencialidade da ferramenta SIG foi realizado por ALMEIDA (1998), onde empregou-se a tecnologia SIG no transporte escolar da zona rural no interior paulista. Apesar dos Órgãos Municipais não apresentarem recursos técnicos para organizar e operar esse sistema, concluiu-se que é possível melhorar o nível de serviço oferecido e reduzir os custos.

MARQUES (1998) propôs a implantação de um SIG para consulta por telefone dos passageiros do transporte coletivo, oferecendo informações sobre pontos de parada de ônibus e o menor itinerário entre dois pontos quaisquer, de interesse dos usuários.

DELUQUI (1998) avaliou a aplicabilidade de um Sistema de Informações Geográficas na solução de problemas de roteirização de veículos de coleta domiciliar

e verificou-se a contribuição dos SIGs no planejamento de roteiros de coleta domiciliar.

Num trabalho realizado na cidade de Fortaleza aplicando a tecnologia SIG com o *software GEOSOR*, foram obtidos uma economia de 17% com relação às rotas praticadas na empresa antes da aplicação do *software*, além da visualização de áreas de menor consumo na cidade. Este economia resultou na realocação de 13 veículos, o que possibilitou a criação de novas rotas em áreas pouco servidas e aumentar a área de cobertura da empresa. (DIÁRIO DO NORDESTE, 1997).

3.7 Fases de implantação de um SIG

A fase de implantação, segundo ARONOFF (1989), é todo o processo de transferência de tecnologia, desde a consciência de uma organização sobre a tecnologia SIG, até a adoção desta. Este autor enumerou as seguintes etapas para a estrutura de implementação:

- Conscientização: as pessoas dentro da organização se tornam cientes da tecnologia SIG e os benefícios potenciais para sua organização.
- Desenvolvimento dos requisitos do sistema: a idéia de que um SIG poderia beneficiar a organização é formalmente reconhecida e um processo mais sistemático e formal é instituído para coletar informações sobre a tecnologia e para identificar os usuários potenciais e suas necessidades.
- Avaliação do sistema: o processo de avaliação leva em conta a análise das necessidades da fase anterior. Uma decisão formal deve ser feita a respeito de se prosseguir ou não com a aquisição do SIG. A Tabela 3.2 mostra os mais importantes *softwares* relacionados à SIG disponíveis no mercado brasileiro.
- Desenvolvimento de um plano de implementação: tendo tomado a decisão de prosseguir com a aquisição de um sistema, um plano é desenvolvido para adquirir o equipamento necessário e contratar o pessoal, fazer mudanças organizacionais e

financeiras do processo. O plano pode ser um documento formalmente aceito ou uma série de ações mais ou menos informais.

- Aquisição do sistema e inicialização: o sistema é adquirido e instalado, o pessoal treinado, a criação da base de dados iniciada e os procedimentos de operação começam a ser estabelecidos. A criação da base de dados é geralmente a parte mais onerosa do processo de implementação. Procedimentos adequados de atualização são implementados para manter a atualidade e integridade da base de dados.
- Fase operacional: procedimentos são desenvolvidos para manter a estrutura SIG e os serviços de melhoria do *hardware* e *software*, tal que o SIG continue a dar suporte às necessidades de informação da organização, que estão mudando. Questões operacionais, relativas às responsabilidades da estrutura SIG prover serviços necessários e garantir padrões de desempenho, tornam-se mais proeminentes.

Para este autor, a base de dados é um investimento que se torna ainda mais valiosa com o passar do tempo, enquanto que o *hardware* e o *software* se depreciam. A manutenção da base de dados deve começar imediatamente após esta ter sido criada.

TABELA 3.2 - Principais *softwares* GIS à disposição no mercado brasileiro

Nome do software	Representante no Brasil	Versão	Funções					Ambiente de rede			Estrutura de dados gráficos	
			GIS	CAD	AM/FM	Sensor/ Remoto	Digitaliz ação	Windows	Unix	Windows NT	Raster	Vector
AeroGIS	Aeroimagem	-	sim	não	não	não	não	não	não	sim	não	não
ArcView GIS	Flair/CI Cons. e Inform	-	sim	não	não	não	não	sim	sim	sim	não	não
ArcView Spatial Analyst Extension	CI Cons. e Inform	-	sim	não	não	não	não	não	não	não	sim	sim
Arc/Info	Gempi Revenda: Intertechne Geosistemas	-	sim	não	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Atlas GIS	Flair/ CI Cons. e Inform	3.03	sim	não	não	não	sim	sim	não	não	não	sim
Atlas Ware GIS/C (Script Atlas GIS)	CI Cons. e Inform	3.01	sim	não	não	não	não	sim	não	não	não	não
AutoCAD Map	Gisoft e Geodigital	1.0	sim	sim	sim	não	sim	sim	não	sim	não	sim
Autoinfo	SKA Automação Industrial	1.0	sim	sim	sim	não	não	sim	não	sim	sim	sim
dbMAPA	Maxidata	-	sim	não	sim	não	não	sim	não	não	não	sim
Genamap/ Genius	UX Informática	6.2	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Geo concept	LFC Informática	3.0	sim	não	não	não	não	sim	não	sim	não	sim
Geographics	Bentley Brasil/ Nexus Consult	95	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
GIS+	Igasa	-	sim	não	não	não	sim	sim	não	sim	sim	sim
GIS Plus	Logit	3.0	sim	não	sim	não	sim	sim	não	não	não	sim
GIS DK	Igasa	-	sim	não	não	não	não	sim	não	sim	não	não
Idrisi	Centro de recursos Idrisi- Brasil	2.0	sim	não	sim	sim	sim	sim	não	não	sim	sim
Ilwis	Igasa Arca Cons.	2.0	sim	não	não	sim	sim	sim	não	não	sim	sim
MapInfo	Geograph	4.02	sim	não	não	não	sim	sim	sim	sim	não	sim
Mapovis	NovaCAD	2.0	sim	não	não	não	não	sim	não	sim	não	sim
Mapitude	Igasa, Logit	3.0	sim	não	não	não	sim	sim	não	sim	sim	sim
Mcontag Motorola	Braslaser	-	sim	não	não	sim	não	sim	não	sim	sim	sim
MGE	Sisgraph, BentleyBrasil	7.0	sim	sim	não	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim
Oasis Montay	Geosoft Latinoamérica	4.06	sim	não	não	não	não	não	não	sim	sim	sim
Pamap GIS	Theetech	5.0	sim	sim	não	não	não	sim	não	sim	sim	sim
SIGFun	Micrograph	-	sim	não	não	não	não	sim	não	sim	não	sim
Sitim/SGI	Imagem, Engespago	2.5	sim	não	não	sim	sim	não	não	não	sim	sim
Smallworld 3	Cotesa Brasil, CME Brasil	3	sim	não	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	sim
Spans	Theetech, Infohouse	6.0	sim	não	não	não	não	sim	sim	sim	sim	sim
Spans GIS	Infohouse	-	sim	não	sim	não	não	sim	não	sim	sim	sim
Spans MAP	Infohouse	-	sim	não	não	não	não	sim	não	sim	sim	sim
Spring	Inpe	3.0	sim	não	não	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim
Tacticion	Geografia de Merc. e Est. Empres.	4.0	sim	não	não	não	não	sim	não	sim	sim	sim
TNT Mips	Geosat	5.4	sim	sim	não	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim
TransCAD	Igasa, Logit	3.0	sim	sim	sim	não	sim	sim	não	sim	sim	sim
Vision	Construtel	4.0	sim	não	sim	não	sim	sim	sim	não	sim	sim
WinGIS	UX Informática	3.2	sim	sim	não	não	não	sim	não	sim	sim	sim

Fonte: <http://www.fatorgis.com.br/softwares/softwares.htm>

CAPÍTULO 4

4. ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS DE COLETAS E ENTREGAS

Neste capítulo são feitos estudos sobre teoria dos grafos, formas de tratamento da rede de transportes e otimização de fluxos para a ciência da formulação da roteirização e programação de veículos. Sintetiza as principais abordagens dadas à roteirização de veículos. Mostra os critérios básicos para uma primeira descrição das estratégias de soluções e, em seguida às estratégias de resoluções que se enquadram nas abordagens dadas aos problemas e, finalmente, apresenta os principais pacotes comercializados para o roteirização e seqüência de entregas.

4.1 Introdução

Nas duas últimas décadas, as formulações envolvendo problemas de roteirização de veículos têm representado uma importante área de estudo em pesquisa operacional. Inúmeros trabalhos têm sido desenvolvidos, em virtude de sua importância dentro da logística e repercussão econômica. A combinação de resposta rápida e rotas eficientes com maior produtividade são as principais razões para os grandes esforços para criação de modelos que descrevam problemas complexos, limitados por uma série de restrições.

Segundo FERREIRA (1975), *rota* significa caminho, direção. Rumo e *roteiro* quer dizer a indicação metódica e minuciosa da situação e direção de caminhos; a descrição escrita dos pontos que se devem conhecer para se realizar uma viagem marítima; a descrição pormenorizada de uma viagem; itinerários.

CUNHA (1997) relata em seu trabalho que nos artigos e publicações técnicas em língua inglesa, o termo *routing (routeing)*, se refere a definição de um ou mais caminhos, seqüência ou itinerários a serem cumpridos por veículos de uma frota.

Segundo este mesmo autor, em língua Portuguesa, os termos *roteirização* e *roteamento* podem ser usados indistintamente para descrever itinerários, caminhos, seqüência de entregas, pois, o verbo *roteirizar*, é conhecido e utilizado nas áreas de pesquisa operacional, logística e transportes com tais significações.

Na operação de veículos, a palavra *roteirização* costuma ser empregada junto com o termo *programação*. Este está ligado aos aspectos temporais dos roteiros e significa a definição dos horários requeridos a cada tarefa no roteiro. No sistema de entregas, a programação cuida da seqüência, considerando a ordem em que os pontos deverão ser atendidos (paradas para almoço, duração da rota etc.).

Neste capítulo, pretende-se fazer uma breve revisão da literatura sobre as diferentes abordagens dadas à roteirização, às restrições e/ou características de acordo com a realização do transporte em questão, bem como, as principais estratégias para resolvê-los, estabelecendo as vantagens de se usar um ou outro método. Para tanto, é preciso introduzir conceitos, notações e definições básicas da teoria dos grafos, forma de tratamento da rede, fluxo máximo, mínimo percurso e árvore de menor caminho, fundamentais para ciência do processo de geração de rotas e seqüências de entregas. E por último, é apresentada a formulação para o problema de entregas de bebidas (estudo de caso) e os programas disponíveis comercialmente para tratar do problema de roteirização de veículos.

4.2 Noções básicas sobre teoria dos grafos e rede de transportes

O espaço urbano, no qual os serviços de transportes são ofertados, consiste de uma rede com vários elementos, tais como, estradas, ruas, interseções, terminais etc. As características e relações espaciais dessas entidades são devidamente exploradas pelos transportes como produto das operações dentro neste espaço, através dos modelos. Uma maneira de transferir situações reais a modelos para otimizações em redes, possibilitando várias simulações, é através da teoria dos grafos.

A rede de transportes pode ser representada através de um sistema de coordenadas (cartesianos, polares etc.) ou na forma de grafos. A forma mais simples de representá-la é através de pontos e linhas (Figura 4.1). Em termos simplificados, as linhas simbolizam os trechos de vias e os pontos, os cruzamentos ou elementos de origem e destino dos fluxos. Esta forma de representação auxilia a programação matemática na construção de algoritmos que solucionam, de forma simples, problemas de travessias em rede.

FIGURA 4.1 – Representação da rede de transporte

A maioria dos problemas relacionados à rede de transporte e os procedimentos para sua resolução envolvem conceitos e definições abrangidos pela teoria dos grafos. Noções sobre conectividade, distância entre dois pontos, caminhos mínimos, árvore de menor caminho e matriz de custo estão constantemente presentes em problemas de fluxos em redes inseridos na forma de subproblemas, e usados como subrotinas para problemas de roteirização de veículos, tornando, então, essencial sua inserção neste capítulo. Os termos arestas e arcos, nós e vértices são usados neste trabalho indiferentemente.

Há duas formulações básicas nos problemas de roteirização de veículos de natureza essencialmente espacial. Uma seria projetar rotas de modo a percorrer um conjunto de trechos (linhas) da cidade. Outra seria atender um conjunto de pontos (destinos) a partir de outros (origens) a fim de fornecer determinado serviço (entrega ou coleta). Segundo RABUSKE (1992), o matemático *William Rowan Hamilton* foi o primeiro a propor, em 1859, um caminho simples e fechado que passasse por todos os nós

exatamente uma vez. Por esta razão sua solução foi chamada ciclo hamiltoniano e, posteriormente, serviu para solucionar o problema do caixeiro viajante, como será visto mais adiante. No entanto, foi o famoso trabalho de Euler que deu início à teoria dos grafos em 1736, quando este autor tentou encontrar uma maneira na qual um desfile (religioso) pudesse cruzar as setes pontes, situadas na Rússia na cidade Kaliningrad no rio Pregel, uma única vez. Neste trabalho, o autor propôs encontrar um grafo G , por essa razão denominado caminho euleriano, onde fosse possível achar um caminho fechado, passando em cada aresta pelo menos uma vez.

4.2.1 Definições

Os componentes de um grafo recebem diversas características, possibilitando descrever diversos cenários. A coleção de linhas de um grafo podem ser direcionadas, chamada de arcos e representadas por uma seta. Ou bidirecional, neste caso, chamadas de ligação, sendo o grafo dito respectivamente, orientado e não orientado. Ou ainda, o grafo pode ser misto, formado tanto por arcos quanto por ligações.

Um grafo orientado define um caminho por um conjunto de arcos ordenados e orientados, com arcos adjacentes chegando e saindo nos nós. Podem ser indicados por uma sequência de arcos, $S = \{(1,2), \dots, (n-1, n)\}$ ou de nós, $S = \{1, 2, \dots, n\}$. Um caminho finito em que o nó final coincide com o inicial é chamado de *circuito*. Uma característica da rede relacionada ao conceito de caminho é o de *conectividade*. Uma rede é conexa se para todo par de nós da rede existir pelo menos um percurso interligando o par. O menor caminho existente entre dois nós, denomina-se distância entre dois pontos. Se o percurso é único para cada par de nós, a rede conexa é chamada de *árvore*. Assim, toda rede não orientada possui associado a ela um subgrafo conexo chamado árvore que não possui circuitos, isto é, numa árvore não há caminhos fechados. Uma árvore conexa com N (vértices) nós tem exatamente $N-1$ arcos e existe um único caminho entre dois nós da árvore. Uma árvore gerada de um grafo não orientado $G(N, A)$ é uma árvore que contém o conjunto completo N de nós. A árvore orientada possui um nó raiz e um único caminho deste nó para qualquer

outro nó na árvore. Uma arborescência de um grafo orientado $G(N, A)$ é uma árvore orientada que contém o conjunto N completo de nós.

Ao conjunto de pontos estão associadas duas propriedades: *grau* e *déficit*. No caso de grafo não orientado, o grau é definido como o número de arcos que terminam e acabam neste nó, podendo ser par ou ímpar. Quando o grafo é orientado, os nós possuem grau de entrada, arcos que convergem ao nó; grau de saída, arcos que divergem do nó. A diferença do grau par e ímpar é chamado de *déficit*.

Grafos podem ser representados através de matrizes. A matriz de adjacência $M = (m_{ij})$ é uma matriz $n \times n$, que informa quando os vértices são adjacentes. Os vértices x_i e x_j são adjacentes quando a célula a_{ij} for igual a 1, e não serão adjacentes quando a_{ij} for igual a 0. É comum ver em muitos algoritmos de grafos, cada aresta necessita ser examinada pelo menos uma vez. Logo, se um grafo for descrito por uma matriz de adjacência, o tempo de processamento do algoritmo será proporcional ao quadrado de N .

Aos arcos de um grafo podem ser atribuídos valores, neste caso, o grafo é chamado de valorado, pois existem uma ou mais funções que relacionam valores aos comprimentos dos arcos, definindo grandezas, tais como, custos, distâncias, tempo de viagem, capacidade do arco, etc. Esta função, denominada custo do arco é definido por uma matriz de custos do tipo $W = [w_{ij}]$.

A solução dos problemas de fluxo em grafos orientados permite a realização de operações com o grafo original, transformando-o num grafo simétrico onde o número de arcos que chegam ao nó i seja igual ao número de arcos que saem do nó i , ou seja todos os nós possuem *déficit* zero. Conforme CHRISTOFIDES (1973), se o grafo for simétrico há garantia de que existe uma rota que passe por todos os arcos sem repetir nenhum arco. Caso contrário, é assimétrico. A Figura 4.2 ilustra dois exemplos simples de rotas em rede, uma orientada e outra não orientada.

FIGURA 4.2 – Grafo não orientado e orientado.

O problema de EULER era propor um caminho que passasse por todos os arcos de um grafo não orientado, iniciando e terminando no mesmo nó, minimizando a distância percorrida. Neste caso, os nós possuíam o mesmo número de arcos que entram e que saem. Este ciclo de mínimo custo convencionou-se chamar ciclo *euleriano*. Também convencionou-se chamar de caminho de *Euler*, toda rota que percorra todos os arcos de um grafo pelo menos uma vez sem no entanto que seus nós inicial e final coincidam. Estas observações levaram à formulação de um importante teorema para o traçado de rotas sobre grafos.

A Figura 4.3 dão uma visão, de forma simplificada, do que seja grafo e árvore não orientados. Na Figura 4.3 à esquerda tem-se um exemplo de grafo $G(N, A)$ não direcionado e conexo. Este grafo contém seis nós e nove arcos, com números que indicam seus comprimentos. Os nós a, b são adjacentes e os nós a, c não são. O grau do nó e é 3, uma vez que os arcos (b,e) , (a,e) e (f,e) incidem nele. Um caminho simples e elementar para se chegar ao nó a partindo de nó b é $a-e-f-d$. A menor distância entre os nós a e c , são 7. Na Figura 4.3 à direita tem-se de um subgrafo do grafo G , que não representa, no entanto, a árvore de menor caminho.

FIGURA 4.3 – Grafo e subgrafo ordenados e não - orientados

Na Figura 4.4 estão ilustrados um grafo e uma árvore orientados. Na Figura 4.4 a) tem-se um exemplo de grafo G , direcionado e conexo, mas não fortemente conexo uma vez que é impossível ir, por exemplo do nó g ao nó a . Os nós f e e são adjacentes, enquanto os nós a e d não. O caminho (a, f, e, d, g, f, b) é simples, mas não elementar, uma vez que contém um ciclo. Já na Figura 4.4 b) tem-se um subgrafo de G , uma árvore direcionada com raiz em a . O grau de entrada do nó e é 3 e de saída, 2, portanto com *déficit* igual a 1.

FIGURA 4.4 – Grafo e subgrafo orientados e ordenados

4.2.2 Análises de redes

O estudo dos grafos induz a muitas questões ligadas à otimização de travessias em redes. Um problema de transportes não se resume apenas na ligação de pontos origens a destinos mas, também, na otimização de uma função objetivo: minimização de tempo ou distância total de viagem, desconforto ou custo global de viagem. A designação dos caminhos e percursos mínimos, considerando a capacidade de fluxos nos arcos, exerce grande influência nos resultados obtidos na aplicação dos modelos. Dois problemas básicos relacionados ao fluxo em redes são determinar o fluxo máximo que percorre os arcos de um grafo e, determinar o fluxo de mínimo custo que percorra o grafo da origem ao destino.

Duas aplicações elementares da teoria dos grafos são a definição da árvore de menores caminhos e percurso mínimo entre nós. Vários métodos estão disponíveis para determinar as extensões de mínimos custos. Dentre outros podemos citar os trabalhos de POLLACK & WIEBENSON, 1960; DANTZIG, 1960; GOLDEN (1976); DANTZIG & RAMSER, 1959. O primeiro problema, conhecido como árvore de menor caminho, consiste em construir uma rede conexa, de menor extensão total, contendo todos os nós, tal que a soma dos custos associados aos arcos realmente utilizados seja mínima, sendo necessário ter um número de arcos suficiente que assegure a existência da solução. Se os custos forem distintos, pode-se dizer que a árvore de mínima extensão é única, entre todas as árvores geradas de um grafo.

O problema de percurso mínimo envolve a obtenção de um percurso interligando a um ponto (origem) e outro (destino) numa rede não orientada, de forma que a soma dos custos associados aos arcos seja mínima. Este problema é um importante componente para resolução de problemas de roteirização mais complexos. A solução deste problema exige conectividade entre todos os componentes do grafo.

As questões de caminho mínimo são a mais antiga da teoria dos grafos e consistem em encontrar o menor caminho entre vértices quaisquer, dadas as características do grafo G , que possui um valor associado a cada arco, de forma a minimizar uma

função objetivo. ELMAGHIRABY (1970) classificou os problemas de determinação dos caminhos mínimos em quatro categorias principais:

1. Problema do caminho mínimo entre dois nós específicos s e t ;
2. Problema dos m - caminho mínimo entre dois nós específicos s e t ;
3. Problema do caminho mínimo de s (ou t) para todos os nós do grafo;
4. Problema do caminho mínimo entre todos os pares de nós do grafo.

Os três últimos casos são generalizações do primeiro, com procedimentos de resolução semelhantes. Existem dois procedimentos básicos para resolvê-los: o de DJKSTRA (1959) e o de FLOYD (1962). São usados tanto em redes orientadas e não - orientadas como mistas. O primeiro, indicado para resolver os casos 1,2,3. Segundo CHRISTOFIDES¹ apud RABUSKE (1992), o algoritmo de *DJKSTRA* é o mais eficiente na solução do problema de menor caminho de um nó para todos os outros de um grafo, perfazendo várias iterações até encontrar, um após outro, pontos próximos do primeiro. E resulta numa árvore com raiz no primeiro vértice a todos os outros da rede. O segundo procedimento determina simultaneamente os caminhos mínimos entre todos os nós do grafo. É um procedimento requerido invariavelmente nos problemas de localização de instalações de serviços urbanos.

A formação de caminhos *Eulerianos* em grafos mistos exigem, do grafo, conectividade, grau par e uma rede simétrica, o que torna este problema muito mais complexo, com relação aos outros vistos anteriormente. Não há algoritmos eficientes para resolvê-los, ao contrário dos dois primeiros.

Uma aplicação simples das técnicas de menor caminho é a atribuição da capacidade de tráfego aos diferentes segmentos da rede de transportes. Os níveis de fluxo em todas as ligações são obtidos pela construção da árvore de menor caminho, adicionando ao fluxo total, os fluxos de tráfego $E(i,j)$, correspondentes para cada par origem-destino (i,j) , utilizando para tanto uma matriz *de fluxo* entre todos os pares de nós.

¹ CHRISTOFIDES, N.(1975) Graph theory algorithmic approach. Academic Press, London, apud RABUSKE, M. A. (1992). *Introdução à teoria dos grafos*. Florianópolis. Ed. UFSC, 184p.

Uma aplicação das técnicas de otimização de fluxos em rede é a alocação do tráfego numa rede de transportes. O problema de *fluxo máximo* é desenvolver um esquema de transporte que maximize a quantidade de objeto entre dois pontos, obedecendo a condição: $q(i,j) \geq x(i,j) \geq 0$, onde $x(i,j)$ simboliza o fluxo. Ao grafo $G(N, A)$, com capacidade $q(i,j)$, estão associados os arcos (i,j) , com $(s \text{ e } t) \in N$. Por exemplo, uma rede distribuidora de gás natural ou energia elétrica, interessada no volume máximo de material transportado aos clientes.

4.2.3 Complicações nos percursos urbanos

Certas complicações surgem quando algoritmos de trilha menor, tais como os discutidos anteriormente, são aplicados em ambiente urbano. Por exemplo, um caminhão geralmente sofre uma penalidade, em termos de acréscimo de tempo de percurso, para curvas à direita ou à esquerda, especialmente nos cruzamentos em ruas urbanas onde não se permite fazer certas manobras, por exemplo como retorno em “U”. A formulação de modelos, que considere tais complicações são modificações dos algoritmos convencionais de caminho mínimo, de forma a evitar sérias dificuldades. Em suma, modelos simples são modificados, tornando-os apropriados às aplicações dos algoritmos quando penalidades eventuais possam existir.

LARSON & ODONI (1981) exemplificam situações descritas anteriormente, com uma aplicação simples no grafo ilustrado na Figura 4.5. Supôs-se que cada curva (esquerda ou direita) carregava uma penalidade de duas unidades de tempo. Neste caso, os números próximos aos arcos indicam tempos de viagem médios em cada segmento de rua. Então, o menor caminho para ir de A até D seria igual a $A-B-D$ com extensão de 12 unidades, sendo incluso 2 para a penalidade de virar em D . No entanto, a menor trilha para ir até E é (A, C, D, E) de extensão 18. Nota-se, que o menor caminho, partindo de A até D é diferente do caminho de A até E , e isto é incoerente com a lógica de construção da árvore de menor caminho.

FIGURA 4.5 – Seção de área urbana numa malha viária

Fonte: LARSON & ODONI (1981)

4.3 Descrição e formulação dos problemas

Conforme expresso anteriormente, o planejamento de roteiros e seqüências de coleta e/ou entrega, dentro da logística, tem por meta otimizar uma função objetivo, como distância, tempo, segurança, etc., ou seja, custos associados ao transporte. Esse processo pode ser feito tanto através de técnicas matemáticas como feito baseado na experiência particular dos operadores e na aplicação de métodos intuitivos, considerando no máximo, parâmetros como a geografia das áreas de coleta e/ou entrega.

Neste último, são feitos estudos criteriosos sobre as ruas, observando o grau de intensidade do tráfego, tipo de pavimentação, acidentes geográficos da área, declividades existentes e outros parâmetros que, com auxílio de um mapa da cidade, são usados no cálculo dos roteiros e o tempo gasto nas operações de entregas e/ou coletas.

É um processo manual, fazendo-se necessário um mapa da cidade atualizado, normalmente, na escala 1:5000. Sobre este mapa sobrepõe-se uma folha de papel apropriada, na qual se pontilha, grosseiramente, os clientes em potencial e, de acordo com a densidade dos clientes, traça-se com linha cheia as áreas produtivas,

circulando os pontos a serem visitados e os trechos de ruas a serem percorridos. Dentro destas zonas, na seqüência, o encarregado da área deve acompanhar o rota do caminhão, projetando o trajeto mais adequado à entrega da carga completa no horário previsto. O roteiro geralmente inicia pelo ponto mais próximo da garagem ou do centro de distribuição, caso os veículos retornem ao centro de distribuição. As notas fiscais devem ser ordenadas na seqüência de entregas, respeitando as restrições de tempo de cada cliente. Após a confecção completa do desenho sobre o papel transparente, fazem-se várias cópias do mesmo e, sobre cada um, desenha-se uma alternativa de conjunto de roteiros e, de posse deste conjunto de alternativas, escolhe-se aquela que representa o menor custo total para o sistema.

Não obstante, as empresas empregarem técnicas manuais, muitas delas estão buscando soluções matemáticas e automatizadas. Métodos manuais no planejamento das entregas e coletas, tornam-se bastante demorados, exigindo do planejador bastante experiência e familiarização com a área de atuação. Situações, nas quais se tem constantes mutações dos pontos de visitas e grandes quantidades de variáveis e restrições envolvidas, métodos precisos e eficazes são de grande valia. Por outro lado, as restrições e extensões dos problemas na prática tornam suas formulações mais complexa e de difícil solução computacional. Muitos estudos têm discutido métodos para solucionar problemas de definição de rotas e seqüência de coleta e entrega, nas mais diferentes formas de tratamento, dentre outros pode-se citar BODIN et al.(1983), BODIN & GOLDEN (1981), MAGNANTI (1981), MOLE (1981). Um esquema geral de classificação desses enfoques foi exibido por BOTT & BALLOU (1986), mostrado na Figura 4.4. A natureza circular no esquema salienta que combinações desses três enfoques também foram considerados nos estudos.

A ciência das peculiaridades de cada situação é que direciona à sistematização do problema e auxilia na escolha do método de solução. Os critérios básicos para caracterização de tais cenários são:

- características inerentes à rede: euclidiana ou retangular, não orientada, orientada ou mista;
- natureza da demanda; determinística, probabilística ou parcialmente satisfeita;
- localização da demanda: sobre arcos ou sobre nós, e quais serão atendidos;

- tamanho e tipo da frota disponível: um veículo, vários veículos; homogênea ou heterogênea;
- garagem dos veículos: um depósito, vários depósitos;
- restrições de capacidade dos veículos: capacidade igual, variada ou ilimitada;
- tempo máximo das rotas: tempos iguais, diferentes ou não imposto;
- tipo de atividades: coleta, entrega, mistas, “quebras” permitidas, “quebras” proibidas, volta carregada;
- objetivos: minimizar os custos totais de roteirização, a soma total dos custos fixos e variáveis, número de veículos, maximizar o nível de conforto, ou uma função baseada nas prioridades dos consumidores.

FIGURA 4.6 – Estratégias de solução para a roteirização e programação

Fonte: adaptado de BOTT & BALLOU (1986)

4.3.1 Complexidade computacional dos métodos de solução

A modelação dos problemas de roteirização de veículos é uma das mais difíceis tarefas em pesquisa operacional. A formulação correta esbarra com um fator de *complexidade dos algoritmo*, se forem consideradas as complicações práticas tais como: atender a demanda total; transportar dentro dos limites de peso e/ou volume

do veículo; obedecer às restrições de horários de cada cliente; obedecer aos horários de operação do caminhão na malha viária etc.

Algoritmos são técnicas usadas para equacionar o problema estruturado numa sequência de passos lógicos. Eles se dividem em exatos ou heurísticos quanto à qualidade de solução. Enquanto os primeiros garantem uma solução ótima para o problema, os heurísticos (ou aproximados) permitem a obtenção de uma solução factível, não necessariamente ótima, mas uma boa solução com velocidade de obtenção da resposta satisfatória. Neste trabalho, serão abordados os modelos de cobertura de arcos e de cobertura de nós e modelos gerais de roteirização, dando ênfase às soluções heurísticas.

Os modelos exatos formulados para resolução de problemas de roteirização utilizam programação linear, inteira e dinâmica, dão solução ótima, porém com elevado tempo de processamento. Um número significativo de métodos exatos foram elaborados para a obtenção de soluções ótimas, mas que no entanto, encontraram limitante computacional..

Métodos exatos são classificados quando à sua complexidade, através dos conceitos de limitação polinomial. Problemas resolvidos por algoritmos polinomiais pertencem à *Classe-P*, o que significa o número de operações elementares à obtenção da solução ótima. No pior dos casos, é limitado por uma função polinomial do tamanho do problema. Problemas pertencentes a *Classe NP-completos (NP-Hard)* são complexos e de difícil tratamento, pois não se conhece função polinomial que os resolvam. Enquanto sua complexidade cresce exponencialmente, os da *Classe-P* crescem de forma polinomial.

O problema de roteirização de veículos pertence à classe *NP-Completo*, o que leva ao desenvolvimento de heurísticas para tratá-lo. O número de operações computacionais dos algoritmos exatos disponíveis cresce segundo uma função exponencial do número de pontos que precisam ser visitados, adicionando restrições operacionais. Conforme exemplo citado por BODIN et al. (1983), um problema *A*, definido sob uma rede de tamanho n , tem um algoritmo polinomial como solução quando este requer $1000 \times (n)^2$ iterações para resolvê-lo e, um problema *B* tem

solução em algoritmo da classe *NP-Completo*, quando o número de iterações é da ordem de $(2)^n$. Assim, para um $n=15$, o problema *A* consumirá muito mais tempo de processamento do que o problema *B*; para um $n=30$, o problema *B* necessitará de um bilhão de iterações, enquanto o problema *A*, de apenas 900.000. A medida que n cresce, a situação vai se invertendo até que o problema *B*, torna-se infinitamente maior que *A*, como mostra o Figura 4.2, devido à complexidade dos problemas de roteirização de veículos. Este trabalho estará centrado no estudo das heurística de solução.

FIGURA 4.7 – Comparação entre os algoritmos polinomial e *NP-Completo*

4.4 Classificação dos principais problemas de roteirização

A roteirização de veículos será abordada em três versões básicas: problemas de cobertura de arcos; problemas de cobertura de nós e modelos gerais de roteirização de veículos. Os dois primeiros são clássicos e de natureza essencialmente espacial. O problema de cobertura de arcos consiste em determinar a rota de comprimento mínimo que percorre todos os segmentos da rede ao menos uma vez, enquanto o problema de cobertura de nós determina a rota de comprimento mínimo que percorre todos os nós da rede exatamente uma vez. Nos problemas gerais de roteirização, a demanda localiza-se sobre os nós e arcos específicos e adicionam nos problemas clássicos de roteirização, restrições quanto ao número de depósitos, veículos, capacidade etc. Como o presente trabalho está centralizado no problema de

roteirização de veículos para entregas urbanas, os próximos itens darão maior ênfase aos estudos de problemas de cobertura de nós.

4.4.1 Problema do carteiro chinês (problema de cobertura de arcos)

Conhecido na literatura como o problema de carteiro chinês (*Chinese Postman Problem*), seu objetivo é encontrar o percurso mínimo dentro de uma área, tal que todos os arcos sejam atravessados pelo menos uma vez, partindo e retornando ao mesmo ponto. O primeiro a estudar este problema foi o matemático suíço *Euler*, em 1736. Este pesquisador provou que para o problema das sete pontes não existe solução e derivou alguns resultados gerais que, posteriormente, serviram para encontrar a solução do problema. Situações freqüentemente classificadas neste tipo de problema são varrição de rua, serviços de endereçamento postal, coleta de lixo, distribuição de água engarrafada, dentre outros. Muitos trabalhos foram dedicados para ciência e análises destes problemas. (LARSON & ODoni, 1981; HICKMAN, 1981; MARKS & STRICKER, 1971; EISELT et al., 1995, etc.).

4.4.2 Problema do caixeiro viajante (problemas de cobertura de nós)

Objeto de muitos estudos, o problema do *caixeiro viajante* é um problema básico de cobertura de nós, pois sua concepção original é definir a rota de mínima distância a ser realizado por um viajante (veículo), iniciando e terminando no mesmo ponto, de modo que sejam visitados todos os nós especificados de um *grafo* precisamente uma vez. Várias situações práticas se enquadram neste tipo de problemas, por exemplo, transporte escolar, coleta de resíduos hospitalares, entregas de lojas de departamento, distribuição de remédios, bebidas, cigarros, dentre outros.

Segundo LAPORTE et al. (1985), os primeiros a publicar artigo referente ao problema do *caixeiro viajante* foram DANTZIG & RAMSER, em 1932. O algoritmo é formulado sobre todos os pontos de uma rede $G(N, A, C)$, a um mínimo custo total, onde N é o conjunto de nós; A , o conjunto de arcos e $C [cij]$, a matriz relativa aos custos, sendo cij o custo para se ir do nó i ao nó j . Algumas das variações

deste problema surgem quando os custos de se viajar entre duas localidades é o mesmo, independente do sentido seguido.

4.4.3 Vários veículos, um depósito (problemas de cobertura de nós)

O problema é conhecido, na língua inglesa, como *vehicle routing problem*. Trata de definir um conjunto de rotas factíveis executada por uma frota homogênea de veículos, com capacidade máxima conhecida, que partem de um depósito e atendem a N clientes. A Figura 4.5 mostra um cenário de rotas, em forma de pétalas de margarida, com demanda por nó igual a um e capacidade dos veículos de 4 unidades.

FIGURA 4.8 – O problema com vários veículos e um depósito central

Também pode ser chamado de múltiplos *caixeiro viajante*; trata-se da generalização do problema do caixeiro viajante, onde existe a necessidade de roteirizar mais de um viajante (ou veículo), idênticos entre si. Os veículos devem respeitar possíveis restrições de capacidade e tempo de rodagem. Não existe restrição do número de nós que cada veículo pode visitar, exceto que cada veículo deve visitar pelo menos um nó. A capacidade dos veículos é conhecida.

No caso da entrega de bebidas, uma série de rotas é criada para os veículos localizados no depósito central com o objetivo de servir todos os nós e minimizar a distância total viajada. A demanda de cada nó (clientes) é considerada determinística e cada veículo tem uma capacidade conhecida, devendo sair e retornar ao mesmo depósito. As quantidades demandadas em cada ponto são transportadas inteiramente por um único veículo.

4.4.4 Vários veículos, vários depósitos (problemas de cobertura de nós)

Refere-se à generalização da situação anterior sendo que, neste caso, os veículos são abastecidos por mais de um depósito. Os veículos são alocados para o depósito de acordo com critérios de demanda por zona e quantidade destas. A existência de vários depósitos adiciona a dificuldade de designação das demandas aos depósitos específicos.

4.5 Estratégias de solução

As estratégias de solução para os problemas de roteirização de veículos podem ser classificadas em: métodos exatos, métodos heurísticos e emergentes. Desenvolvidos ao longo dos anos, técnicas heurísticas dominam os procedimentos de solução e dão solução aproximada com tempo de resolução razoável, diferentemente dos algoritmos exatos. A solução heurística é avaliada por um parâmetro de desempenho, que guarda a relação do comprimento (rota heurística/rota ótima), sendo sempre maior ou igual a 1. Métodos emergentes englobam estratégias mais recentes e avançadas, baseadas em sistemas especialistas, métodos de busca e procedimentos iterativos.

Os métodos exatos existem basicamente em três versões: os chamados métodos *branch and bound*, programação inteira e dinâmica. CHRISTOFIDES et al. (1981) desenvolveram dois diferentes algoritmos de *branch and bound*. Um destes utilizou o procedimento de *relaxação lagrangeana*, na tentativa de encontrar soluções ótimas para pequenos problemas.

CUNHA (1991) propôs e avaliou uma estratégia exata de solução para o problema de roteirização e programação de um veículo, com restrição de capacidade e precedência, baseado no algoritmo de programação dinâmica. Este algoritmo utiliza o conceito de etiqueta bidimensional e critérios para a identificação e eliminação de rotas inviáveis sendo expandidas.

Por serem capazes de gerar soluções com dimensões reais e factíveis, os métodos heurísticos foram objeto de estudo deste capítulo e foram classificados em: métodos de construção de rotas, métodos de melhorias de rotas e métodos compostos.

4.5.1 Métodos de construção de rotas

- *Agrupamento e roteirização*

Refere-se aos procedimentos que num primeiro momento, agrupam a demanda em nós e/ou arcos e depois definem as rotas factíveis para cada grupo, utilizando procedimentos de resolução do problema básico de roteirização. O agrupamento é feito através da técnica de varredura, que consiste em girar uma reta centrada no depósito num sentido arbitrário. É o método adotado no algoritmo de GILLET & MILLER (1974). Ele começa com um ponto de partida escolhido ao acaso, e então “varre”, em torno do depósito, agrupando nós consecutivos numa viagem, até atingir a capacidade do veículo. A seguir um novo veículo é selecionado e a varredura continua, construindo rotas até preencher toda a área. Definidas as rotas, finaliza com uma boa heurística do *caixeiro viajante* para determinar a sequência das visitas. Este método gera uma solução criando coordenadas polares de cada ponto com a localização de início num eixo imaginário.

GRACIOLLI (1994) elaborou um modelo informatizado para otimizar roteiros fundamentados na técnica de varredura no zoneamento de coleta dos resíduos hospitalares, por ser de execução fácil e passível de se incorporar conhecimentos empíricos, considerando limitações geográficas, no agrupamento dos pontos.

Este método apresenta duas desvantagens. Primeiro, veículos com capacidades diferentes não podem ser facilmente incorporados, devido à natureza do procedimento de varredura. Segundo, quando o número de pontos aumenta por rota, o tempo computacional aumenta drasticamente.

- *Roteirização e agrupamento*

Inicialmente, uma grande rota é construída, utilizando procedimentos do problema básico de roteirização, como se fosse servir todos os pontos, com apenas um veículo. Essa rota é, então, fragmentada, sendo cada uma de suas extremidades ligadas ao depósito. São indicados para problemas com um depósito e frota heterogênea, sendo utilizado para ônibus escolar e limpeza de ruas. Algoritmos que usam esse tipo de bordagens são citados em BALL et al. (1983) e BEASLEY (1983).

- *Método de economias*

Este método baseia-se nas economias que se obtém ao acrescentar um cliente numa rota já formada. Inicia servindo cada ponto numa única rota. Depois, são adicionados outros pontos e então calculadas as economias de distâncias resultante da nova configuração, determinando a inserção de menor custo. As primeiras heurísticas foram construídas nessa lógica e, posteriormente sofreram modificações ao longo dos anos. A mais famosa heurística de economias é o método de CLARKE & WRIGHT (1964). Depois de considerar determinados aspectos teóricos do problema do caixeiro viajante, estes autores desenvolveram um procedimento iterativo que possibilitou a seleção rápida de uma rota ótima ou próxima da ótima, tornando-se, desde então, a solução mais utilizada e discutida no mundo, por ser de rápida execução computacional e apresentar solução satisfatória.

Seja n o número de nós, o procedimento começa servindo cada parada com uma única rota. Em seguida combina um ponto com outro, de forma a obter o maior ganho de percurso total. Por exemplo, supõe-se que dois pontos i e j sejam atendidos individualmente por dois veículos. Depois, ao invés de 2 veículos, usa-se apenas um,

combinando-se dois pontos quaisquer numa mesma rota, obtendo “ganhos” com a adição de mais um ponto. A Figura 4.6 ilustra a lógica de solução deste método.

FIGURA 4.9 – Lógica da heurística de economias

Seja o custo (distância ou tempo de viagem) da rota inicial igual ao somatório dos custos de ida e volta, $2S_{Li} + 2S_{Lj}$ e, o custo da rota final igual ao somatório dos custos ao se inserir o nó i à rota j : $S_{jL} + S_{Li} + S_{ij}$. A diferença das rotas, denominado de “ganho”, S_{ij} , será, então, dada pela equação (1).

$$S_{ij} = 2S_{Li} + 2S_{Lj} - (S_{jL} + S_{Li} + S_{ij}) = S_{Li} + S_{jL} - S_{ij} \quad (4.1)$$

Posteriormente, este algoritmo sofreu diversas modificações, tornando se mais complexo e eficaz. YELLOW (1970) implementou o cálculo de economias, introduzindo um parâmetro γ (parâmetro de forma da rota), cuja variação produz rotas de diferentes formatos, transformando a equação 4.1 na equação 4.2:

$$S_{ij} = S_{Li} + S_{Lj} - \gamma \times S_{ij} \quad (4.2)$$

O parâmetro de forma da rota descreve o grau de importância dada ao custo entre os pontos i e j . Quando o parâmetro da forma assume valor igual a um, expressa que o custo entre os pontos i e j , será mais significativo, no resultado do custo total, do que o custo relativo entre estes pontos e o depósito.

BOSE (1991) propôs uma estratégia derivada da proposta por CLARKE & WRIGHT (1964), com modificações visando a solução do problema de uma frota heterogênea para entrega de produtos alimentícios. Foi introduzido um coeficiente de forma no

cálculo das economias, o qual foi feito considerando apenas economias entre nós próximos entre si, através de uma grade sobre a rede.

- *Vizinho mais próximo*

Outro método de construção de rotas é o chamado, vizinho mais próximo. A princípio, é construída uma rota parcial, selecionando-se um nó nesta rota; busca-se o nó mais próximo do último nó inserido neste roteiro e adiciona-o ao roteiro parcial. Este processo é repetido até que todos os nós sejam servidos. E finalmente, conecta-se o último nó ao primeiro.

- *Método da inserção*

Neste método, a lógica dos procedimentos é encontrar a melhor posição de inserção de um nó qualquer à rota, o que minimiza uma combinação da distância e do tempo adicionais para visitar tal nó. Quando não houver mais nós viáveis à inserção, parte-se para uma nova rota, até que todos os nós sejam servidos. Existem vários procedimentos que utilizam a lógica do método da inserção para a construção de roteiros. Um destes, é o procedimento do *vizinho mais próximo*. Começa com uma rota elementar, para depois num segundo momento, procurar o nó k mais próximo de qualquer outro introduzido na rota. Em seguida, parte-se para a etapa de inserção até encontrar o arco da rota parcial que torne mínimo o somatório das distâncias, ao inserir o nó k . Estes passos são repetidos até encontrar um ciclo hamiltoniano de custo mínimo. Outro procedimento é o do *vizinho mais distante*. Inicia-se também, com uma rota elementar e procura encontrar um ciclo hamiltoniano de mínimo custo. O nó k procurado é o mais longe de qualquer outro introduzido na rota. Na etapa de inserção, encontra-se o arco que torne mínimo o somatório das distâncias, ao inserir o nó k .

4.5.2 Métodos de melhorias ou trocas

Este método mantém exequível a solução, enquanto modifica as rotas passo a passo, visando a redução de custos. Gera soluções melhores do que as já factíveis, através da troca de nós entre duas rotas. Cada iteração troca r arcos de uma rota por outros,

ainda não inseridos nesta rota. A partir da determinação de uma rota factível, são avaliados r -trocas realizáveis, com a troca dos arcos, de acordo com a capacidade do veículo. A solução final, sem possibilidade de ser melhorada, é chamada de r -ótima ou r -opt. Este processo de troca de arcos produz um ótimo local, não necessariamente um ótimo global, portanto, uma solução aproximada.

A heurística de *CHRISTOFIDES* faz uso do método de melhorias, para o problema do carteiro chinês. Primeiro, uma árvore de extensão mínima é construída, de um grafo G . Em seguida, os nós de grau par são identificados. Combinando-os dois a dois, encontra-se um ciclo euleriano, e após retirar os polígonos com grau maior que dois, o grafo é transformado num ciclo hamiltoniano

São modelos construídos para melhorar o problema básico de roteirização, com múltiplos veículos, apresentando excelentes soluções, mas exigindo grande tempo de processamento. RUSSELL (1977) propôs uma modificação para esta heurística com problemas de múltiplos veículos.

4.5.3 Métodos compostos

São algoritmos que associam a solução heurística com a solução exata e interativa. Utilizam soluções ótimas para resolver subproblemas contidos nas soluções heurísticas. Vários estudos combinando programação matemática e heurística foram desenvolvidos, dentre eles, FOSTER & RYAN (1976), FISHER & JAIKUMAR (1981), CULLEN et al.(1981).

O algoritmo de FISHER & JAIKUMAR (1981) é uma heurística formulada para resolver problemas com múltiplos veículos com capacidades diferentes. Primeiro resolve o problema generalizado de alocação, (agrupamento de nós), minimizando uma função objetivo; depois, resolve o problema básico de roteirização destes nós, em cada grupo. Utilizaram uma combinação de algoritmos exatos e relaxação lagrangeana para solucionar a alocação e uma aproximação linear nos testes computacionais, para a duração dos roteiros em cada grupo de nós.

4.5.4 Otimização interativa

Este cálculo de custos avalia uma solução gerada pelo despachante, determinando de forma rápida o roteiro mais adequado. Neste caso, a visualização gráfica pode auxiliar muito na verificação de rotas factíveis. É um método que auxilia o analista na tomada de decisão. Consiste basicamente na geração de uma solução inicial e em seguida, faz uso de mecanismos que alteram esta solução inicial, produzindo melhores resultados. Esse tipo de algoritmo utiliza a interação humana, caracterizando-se pela simplicidade e eficiência. Apresenta a seguinte falha: o analista tem dificuldade com problemas mais complexos.

DOLL (1980)² apud BOTT & BALLOU (1986), desenvolveu um método interativo usando a idéia das rotas de formato lagrangeano para gerar soluções rápidas. Outro método desenvolvido, baseado em relaxação lagrangeana, foi feito por CUNHA (1997) para construção de rotas factíveis, representando bem os problemas de roteirização com restrições de capacidade dos veículos, de janela de tempo (ou horários) dos clientes e duração máxima das viagens dos veículos.

BAKER (1992) desenvolveu uma implementação interativa para uma heurística básica de roteirização. Este autor concluiu que métodos interativos, incorporando julgamento humano, podem produzir melhores resultados, principalmente nos casos em que as rotas não precisam ser atualizadas com frequência.

Finalmente incluem-se heurísticas modernas de uso geral, chamadas emergentes ou meta-heurísticas. As principais são, *Busca tabu*, *têmpera simulada (Simulated Annealing)* e *algoritmos genéticos*, que buscam soluções aproximadas, baseadas em variáveis aleatórias como alternativa de solução.

Estes procedimentos heurísticos buscam as possíveis soluções dentro de um conjunto denominado vizinhança, onde é permitido à função-objetivo, deteriorar-se em nome da busca pelo ótimo global da função evitando com que a resposta fica “presa” à um mínimo global.

² DOLL, L. L. (1980). Quick and dirty vehicle routing procedure. *Interface* v.10, p.84-85. BOTT, K.; BALLOU R. H.(1986). Research perspectives in vehicle routing and scheduling. *Transportation Research*, v.20A, n.3, p.239-243. May.

4.5.5 Heurísticas com janela de tempo

As diversas estratégias de resolução para o problema básico de roteamento podem sofrer alterações a fim de descrever os condicionantes reais. É o caso dos algoritmos com *janela de tempo*, como observaram FRIZZELL & GIFFIN (1995) e uma infinidade de autores em seus estudos sobre o assunto. São problemas que exigem uma solução com restrições operacionais, como tempo total de operação do veículo, tempo de jornada dos tripulantes e precedência. Serviços que naturalmente exigem janela de tempo são: carona programada, ônibus escolar e entregas bancárias. Uma revisão completa sobre o assunto é feita em SOLOMON & DESROSIERS (1988).

O propósito do problema quando se usa janela de tempo é estipular horários nos serviços. Esse horário pode ser tanto em função da disponibilidade do cliente como do tempo máximo dispensado nos roteiros. DESROSIERS et al. (1991) define janela de tempo como o tempo *máximo* e o *mínimo*, dentro do qual um serviço deve começar. Uma janela de tempo pode ser bilateral restringindo o tempo de serviço a um intervalo de tempo específico, isto é, de s para t . Se $s = t$, ter-se-á um horário pontual, isto é, um horário específico de serviço. Uma janela unilateral $[-\infty, t]$ ou $[s, \infty]$ é aquela que requer do serviço tempo de início (t) ou de término (s). Este assunto é bastante vasto, com muitos trabalhos publicados, dada sua importância.

A maioria dos problemas reais requer janela de tempo. SOLOMON (1987) apresentou heurísticas de poupança, melhora ou troca, interação e varredura com janela de tempo. Este mesmo autor desenvolveu um conjunto de problemas para comparar os diferentes procedimentos de solução do algoritmo com janela de tempo. O resultado provou que esta heurística é bem efetiva na construção de rotas de menores custos.

Destaca-se aqui o trabalho de BALAKRISHNAN (1993), utilizando as heurísticas, do vizinho mais próximo e CLARKE & WRIGHT (1964), para formular soluções com janelas de tempo flexíveis, permitindo pequenas violações no seu intervalo, mediante uma pequena penalidade imposta. A cada cliente foram determinados tempo real para começar o serviço e o próximo ponto a ser servido. Resultados

mostraram-se eficientes na redução do número de veículos requeridos e distâncias de percurso total, além de controlar as penalidades dos clientes e tempos de espera.

Num estudo feito por CHANG et al. (1997), para o gerenciamento dos resíduos sólidos, aplicado em Taiwan, foi desenvolvido um modelo de roteirização com múltiplos objetivos, sintetizados dentro de um ambiente SIG (ARC/INFO). Neste trabalho, notou-se que uma medida do tamanho do problema são as restrições adicionais, que tornam complicada a resolução, por exemplo, a limitação do comprimento da rota e capacidade do veículo.

CUNHA (1997) desenvolveu um algoritmo com janelas de tempo, de duração máxima da jornada e da capacidade dos veículos, considerando frota de veículos heterogênea. Este modelo foi aplicado a um problema real de distribuição física na Região Metropolitana de São Paulo. O resultado obtidos permitiram a redução da distância total percorrida, dos custos operacionais e da frota necessária, em comparação com a solução manual da empresa.

FISHER et al. (1988), descreveram dois métodos de solução ótima para o problema básico de roteirização com janela de tempo. O primeiro foi baseado num relaxamento da árvore de menor caminho, enquanto o segundo solucionou um problema de menor caminho com janela de tempo e restrições de capacidade.

Por outro lado, os algoritmos existentes na literatura não consideram simultaneamente janela de tempo e variação do tempo de congestionamento do tráfego. O tempo perdido no trânsito é particularmente relevante na roteirização urbana. Durante a hora de pico, o tempo de viagem nos links cresce drasticamente nas áreas mais centrais. Isto implica que o tempo que os veículos gastam para fazer a rota depende do tempo de viagem que os veículos conseguem percorrer nas vias.

Na existência de janela de tempo, o congestionamento efetivo torna-se importante, já que o parâmetro tempo é mais interessante do que a distância entre a origem e o destino. ASSAD³ apud AHN & SHIN (1991) consideraram este assunto na

³ ASSAD, A. A. (1988). Modeling and implementation issues in vehicle routing. Methods e studies. Amsterdam apud AHN, B. H.; SHIN, J.Y. (1991). Vehicle routing with time windows and time varying congestion. Journal of the Operational Research Society, v.42, n.5, p.393-400.

determinação do tempo de viagem e propuseram uma modificação e extensão nos algoritmos já existentes, adicionando a restrição de tempo de congestionamento aos algoritmos.

A escolha de um dos métodos depende, dentre outros fatores, das características dos problemas, estrutura de dados disponíveis, solução esperada e da disponibilidade de equipamento. Outra importante consideração é a fase de planejamento, na qual o modelo será aplicado. Em nível estratégico, o modelo pode ser usado para determinar investimento e *mix* da frota, projetar um sistema de rota fixa, desenvolver custos de fornecimento para o uso em análises de localização de depósitos, até mesmo determinar o nível de serviço prestado. No nível tático, os modelos são utilizados com maior frequência para projetar rotas e sequência de visitas. Neste caso, a velocidade de resposta é essencial, tanto para melhorar quanto para gerar novas rotas.

TABELA 4.1 – Problemas, estratégias e referências para a roteirização

<i>PROBLEMA BÁSICO</i>		<i>RESTRIÇÕES</i>	<i>ESTRATÉGIAS DE SOLUÇÃO</i>	<i>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</i>
Caixeiro viajante			“simulated annealing”	GOLDEN E SKISCIM (1996)
Roteirização de veículos		janela de tempo	Busca tabu	GARCIA et al. (1994)
Roteirização de veículos	Frota homogênea	janela de tempo duração dos roteiros capacidade dos veículos	Busca tabu	TAILLAR (1993)
Roteirização de veículos	Frota homogênea	Capacidade dos veículo duração das jornadas	Busca tabu	GENDREAU et al. (1994)
Roteirização de veículos	Frota heterogênea	janela de tempo	Heurística de construção Busca tabu	ROCHAT e SEMET (1994)
Roteirização de veículos	Múltiplas bases	Capacidade dos veículos duração das jornadas	Heurística de construção Busca tabu	RENAUD et al. (1996)
Roteirização de veículos	Frota homogênea	Capacidade dos veículos Múltiplas viagens	Busca tabu	TAILLARD et al. (1996)
Roteirização de Veículos			Algoritmo genético	GEORGE e SHLEUTER (1989)
Roteirização de Veículos			<i>Asynchronous Teams (A-Teams)</i>	SOUZA (1993)

Fonte: CUNHA(1997)

Uma metodologia interativa com capacidade gráfica, nestes casos, é bastante interessante. A tabela 4.1 ilustra um esquema resumido das principais abordagens dadas ao diversos problemas e as correspondentes estratégias de solução, que foi sugerida, de forma clara e concisa, por CUNHA (1997).

Todas as estratégias descritas resolvem o problema básico de roteirização e a escolha de um ou outro método depende do real conhecimento das características de cada situação e dos limites computacionais das estratégias mais adequadas ao caso em particular. A Figura 4.7 mostra um esquema resumindo as principais estratégias de solução.

FIGURA 4.10 – Esquema de solução para o problema básico de roteirização

4.6 Formulação do problema de entregas de bebidas

A formulação necessária à definição de roteiros e seqüência de entregas, assim como, de remédios, alimentos, água mineral e gás engarrafado, abrangem entregas a clientes dispersos geograficamente. A demanda, expressa em peso da mercadoria e localização dos clientes é previamente definida, juntamente com a frota de veículos. Algumas vezes são exigidos janelas de tempo para o cumprimento de horários preestabelecidos pelos clientes. Formulação necessária à definição de roteiros e seqüência é essencial a eficiência do plano de operação.

O nível de serviço da distribuidora de bebidas, em virtude de algumas características, é medido pelo tempo mínimo para descarga e capacidade dos veículos (limite de peso). O tempo de descarga é importante, visto que, segundo filosofia da empresa, este intervalo identifica o nível de serviço prestado e a eficiência da operação.

Além de outro fatores, a minimização da quilometragem rodada também mede a eficiência nos serviços, para o nível de serviço oferecido pela distribuidora. Em eventos especiais, grande parte das operações de entregas são realizada por serviços de terceiros, transportadoras, que são remuneradas em função da quilometragem percorrida.

O problema de entregas de bebidas pode ser formulado como um problema de cobertura de nós, com vários veículos e um depósito, sendo necessária a definição de roteiros e seqüência de entregas:

- dados de entrada
 - pontos de destino (bares, restaurantes, lanchonetes, padarias, supermercados etc.), podendo ocorrer variação na localização destes, seja porque o estabelecimento foi fechado ou porque mudaram de endereço.
 - pontos de origem (depósito);
 - uma frota de veículos;

- restrições
 - capacidade dos veículos (medido em termos de peso e não volume da carga);
 - horários de entregas, em que o estabelecimento permanece aberto;
 - tempo mínimo para realizar a descarga, que é fixo e praticamente o mesmo em todos os pontos;
 - tempo máximo da jornada de trabalho;
- objetivos
 - construção de rotas de entrega, visando minimizar quilometragem média dos veículo, obedecendo às restrições impostas;
 - estabelecimento de seqüências correspondente ao percurso total mínimo.

4.7 Pacotes comercializados para roteirização de veículos

Posteriormente à formulação do problema, parte-se para a escolha da ferramenta mais adequada, em termos de gastos necessários e resultados esperados. O número crescente de pacotes comercializados para o roteirização da frota, tem apontado aumento da produtividade e redução dos custos, com rapidez e precisão de respostas. Eles tem uma grande variedade de características, sendo a maioria voltada para o problema básico de roteirização. GOLDEN et al. (1986) analisaram os seguintes *softwares*:

- *Pacotes econômicos para roteirização de veículos*

DSS (Distribution Scheduling System), FLEET ROUTER, MICRO VEH PLAN, ROUTER e o TRUCKSTOPS;

- *Pacotes econômicos para roteirização de veículos*

CADs, DISPATCH CONTROL, E-Z ROUTER, PARAGON, ROADNET, ROUTEASSIST.

O CADS (Computer Aided Dispatch System) considera que veículos de capacidade única faz a programação dos veículos que carregam grandes volumes de cargas. O sistema também permite múltiplos pontos de visitas. Os cálculos dos tempos de viagem são baseados na rede; possui ajuste para criar rotas em tempo real, possibilitando intervenção manual. No monitor, é possível visualizar as rotas na forma de textos, com informações sobre os itinerários.

O DISPATCH – CONTROL permite resolver a roteirização em tempo real. Assim um cliente pode ser adicionado à rota um dia antes à sua execução. Os tempos de viagem são precisos, devido à codificação da rede. Possui exibição gráfica de qualidade, sendo altamente interativo, via *mouse*. São disponíveis janela de tempo flexíveis e sempre é permitida a intervenção manual.

Os sistemas DSS, FLEET-ROUTER e TRUCKSTOP dispõem de disco demonstrativos. Estes são valiosos para o usuário com interesse em conhecer as capacidades do sistema antes de adquiri-lo.

Com relação às janelas de tempo, o FLEET-ROUTER e o ROUTER não as possuem, enquanto que os DSS, E-Z ROUTER, MICRO VEH PLAN, PARAGON, ROUTEASSIST e o TRUCKSTOP as possuem operando de maneira limitada. Porém, eles possuem a capacidade para trabalhar com rotas únicas ou múltiplas (coleta de retorno), enquanto o FLEET-ROUTER, ROADNET e o ROUTER não possuem essa capacidade.

Todos os programas têm o mesmo tipo de procedimento, demandas previamente conhecidas e veículos homogêneos e permitem um veículo fazer mais de uma viagem por dia, quando seus componentes justificarem o retorno ao depósito para recarregar.

A circulação entre cidades, normalmente, força os veículos a rodar por mais de um dia. Nestes casos, devem ser invocadas regras especiais na formação da rota, o que

torna o problema muito complexo. Dos programas estudados, o FLEET-ROUTER ROADNET e ROUTER não operam viagens de mais de um dia e os restantes sim.

Alguns programas requerem que todos os veículos iniciem e terminem na mesma hora. Outros permitem diferentes especificações de horários de início e fim para as rotas de cada um dos veículos, o que os torna mais realistas. Só o FLEET-ROUTER e o ROUTER pertencem a este grupo.

Quanto aos tempos de viagens baseados em rede, estes oferecem maior precisão, porém muito investimento de tempo e dinheiro. É o caso dos E-Z ROUTER PARAGON, ROADNET. Todos os programas mencionados anteriormente permitem usar distâncias euclidianas. O TRUCKSTOP e o FLEET-ROUTER incorporam diferentes zonas de velocidade e podem avisar aos usuários a indicação de barreiras naturais usando coordenadas cartesianas.

Os sistemas DSS, PARAGON e ROUTER não possuem alternativas da intervenção manual para efetuar ajustes nas rotas criadas. O ROADNET permite trocas de clientes e alocações destes das rotas e entre elas. Nos outros programas, o analista pode trocar um cliente por vez.

Uma das vantagens dos micros é a possibilidade de se criar capacidades gráficas de qualidades sem aumentar seu custo. Os sistemas FLEET-ROUTER, ROADNET e o ROUTEASSIST têm algumas capacidades gráficas; já os outros seis não oferecem muito nesta área. Em particular, o ROADNET possui ótima capacidade gráfica. A Tabela 4.2 mostra de forma sintética os principais pacotes comercializados para roteirização.

Os mais requisitados no Brasil são: TRUCKSTOP, TRANSPORTATION ROUTING, ROADSHOW e o ROUTESMART, por estarem há mais tempo no mercado. O TRANSPORTATION ROUTING, produto há mais tempo no país, é o antigo TRUCKS, na versão 5.4, *for windows* NT. É um sistema complexo, que requer a montagem, edição e atualização de uma rede viária para seu processamento.

TABELA 4.2 – Os principais pacotes comercializados para roteirização de veículos

Pacotes	Preços	Demanda	Nº de depósitos	Fornece disquetes	Janelas de tempo	Retorna com carga	Executa múltipla rotas	Tempos de início e chegada	Distâncias de percurso baseada	Permite intervenção manual	Capacidade gráfico do sistema	Tempos coletas e entregas
DSS	\$ 750	estática	vários	sim	rígida	sim	sim	diferentes	Eucl./ret.	não	ruim	-
F.ROUTER	\$ 995	estática	único	sim	-	não	sim	iguais	Eucl./ret.	uma	boa	-
M.V.PLAN	\$ 2 000	estática	único	não	rígida	sim	sim	diferentes	Eucl./ret.	uma	ruim	não real
ROUTER	-	estática	único	sim	-	não	sim	iguais	Eucl./ret.	não	ruim	-
TRUCKSTOPS	\$ 895	estática	único	sim	rígida	sim	sim	diferentes	Eucl./ret.	uma	ruim	-
E-Z ROUTER	\$ 40 000	estática	único	não	rígida	sim	sim	diferentes	Eucl./ret./rede	uma	ruim	-
PARAGON	\$ 60 000	estática	único	não	rígida	sim	sim	diferentes	Eucl./ret./rede	não	ruim	não real
ROADNET	\$ 20 000	estática	único	não	flexível	não	sim	diferentes	Eucl./ret./rede	sim	ótima	-
ROUTEASSIST	\$ 10 000	estática	único	não	rígida	sim	sim	diferentes	Eucl./ret./rede	uma	boa	-
CADS	\$ 50 000	dinâmica	vários	não	rígida	sim	sim	diferentes	Eucl./ret./rede	sim	boa	tempo real
D. CONTROL	\$ 145 000	dinâmica	vários	não	rígida	sim	sim	diferentes	Eucl./ret./rede	sim	boa	tempo real

Fonte: GOLDEN et al. (1986)

Segundo CUNHA (1997), as versões mais recentes do TRUCKSTOPS possuem uma interface que possibilita a representação gráfica dos roteiros, como também das barreiras consideradas, ao trabalhar com sistemas de coordenadas. Com relação à estratégia de solução, este *software* gera roteiros iniciais através de uma heurística do tipo vizinho próximo.

Outros *softwares* citados por CUNHA (1997) foram o ROADSHOW e o ROUTESMART. No primeiro, o usuário pode criar, editar e atualizar a sua própria rede viária (nós e *links*) utilizando o *mouse* em um mapa de fundo da região de interesse; esse mapa não é vetorizado, apenas uma imagem gráfica da região. Segundo o fabricante, o sistema pode trabalhar com janelas de tempo rígidas ou flexíveis, bem como definir a frequência de atendimento e selecionar os dias da semana mais adequados.

O ROUTESMART aplica-se especialmente à distribuição urbana. Ele utiliza um sistema de informações geográficas (o GisPlus, da CALIPER) para o gerenciamento dos dados dos clientes e da rede viária.

Os *softwares* ROTACERTA e GEOSOR são produtos nacionais. O primeiro nasceu de uma pesquisa acadêmica desenvolvida na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; possuem a vantagem de ser em português. Além de poder ser customizado pelo fabricante, que garante mais flexibilidade ao sistema, é executado em conjunto com os SIGs TransCAD e Maptitude.

O GEOSOR, *software* desenvolvimento no Brasil, iniciou-se em 1992, quando uma empresa de bebidas buscou junto aos professores da Universidade Federal do Ceará um sistema automatizado para distribuição de seus produtos, que oferecesse maior agilidade, economia e segurança. O resultado desta aplicação foi 17% de redução de percurso e a realocação de 13 veículos, possibilitando criar novas rotas. Os principais *softwares* comercializados no Brasil estão ilustrados de forma resumida na Tabela 4.3.

TABELA 4.3 Principais pacotes comercializados no Brasil utilizados para roteirização

Pacotes	Preços	Sistema de localização dos clientes	Ambiente operacional	Próxima versão	Cópias atuais no Brasil	Comercializado no Brasil
<i>ROADSHOW</i>	de 52 000 a \$ 130 000 dependendo do número de veículos incluindo 12 dias de treinamento	malha viária construída sobre mapa scaneado	DOS com comandos em inglês e help em português	Windows 95 totalmente em português, trabalho simultâneo com quatro mapas de escala diferente	40 instaladas e 270 vendas	desde 1993
<i>Transportation Routing versão 5.4</i>	\$ 40 000 incluindo 2 dias de treinamento básico \$ 45 000 de treinamento opcional e mapas	malha viária construída sobre mapa digitalizado padrão <i>MapINFO</i>	Windows NT comandos em inglês e manual em português	totalmente em português, possibilidade de multiusuários	72 instaladas	desde 1987
<i>TRUCKSTOPS</i>	\$ 15 00 incluindo treinamento básico de 16 horas mais \$ 6 000 a \$ 8 000 com opcionais	Sistema de coordenadas x,y sobre malha viária construída sobre mapa scaneado	DOS com manuais em português	Windows em português	70 instaladas	desde 1992
<i>TRANSCAD versão 3.2</i>	\$ 21 300 mais \$ 4000 de treinamento básico de 20 horas mais o custo dos mapas digitalizados	localização automática em mapas digitalizados	for Windows	versão 3.2 com GPS e roteirização com frota heterogênea	30 instaladas	desde 1993
<i>ROTACERTA</i>	\$ 8 000 mais \$ 2 0000 de treinamento básico de 20 horas mais custo extra de customização	sistema de coordenadas (x,y) que pode ser plataforma <i>Mapitude</i> localização automática	DOS totalmente em português	Windows em português	10 instaladas	desde 1992
<i>GEOSOR versão 4.0</i>	\$15 000 incluindo treinamento básico de 12 horas mais custo extra de customização e despesas de transportes	Localização automática de clientes automática em mapas digitalizados	Windows totalmente em português	localização de clientes automática simultâneo multiusuários	10 instaladas	desde 1993

FONTE: Diretamente com fabricantes e empresas de consultoria e comercialização

4.7.1 A customização de sistemas para roteirização de veículos

Uma questão básica enfrentada pelo analista é qual dos *softwares* comerciais disponíveis é o mais adequado ao seu problema particular. Em alguns casos, os tempos associados com a customização de um programa customizado podem ser evitados. Muitos são os fatores que devem ser analisados para se optar entre um e outro processo, mas a disponibilidade de um pacote comercial que se adapte ao problema torna economicamente impraticável o desenvolvimento de outro. Segundo especialista no assunto, os pacotes com maior chance de sobrevivência são os que competem em preço, capacidade de memória, interface amigável e base de dados geográfica. Por outro lado, se o pacote recém-adquirido não for totalmente adequado para as situações em questão também terá sido gasto muito tempo e dinheiro em vão.

Sistemas desenvolvidos sob encomenda para determinadas empresas possuem características e aspectos particulares desta. Opção que implica em tempo e custos, porém dá maiores garantias de que o resultado alcançado será otimizado. É o caso do ASICAM, desenvolvido por WEINTRAUB et al. (1996), um sistema computacional que gera rotas percorridas pelos caminhões que transportam madeira das florestas chilenas. O ASICAM é programado em FORTRAN e possui uma interface amigável, compatível em PC com 640 Mb RAM e 3 Mb de memória para armazenamento.

Usando um PC 486/66 com processador matemático, um problema com 220 caminhões, 40 pontos de origem e 15 pontos de destino levava 3 minutos para ser resolvido pelo ASICAM. Assim, foi alcançada uma redução no número de caminhões e um aumento de produtividade da ordem de 20% , segundo as firmas que o empregam.

ROSSEAU (1988) analisou a necessidade de criação de sistemas específicos para situações peculiares e afirmou que, quando um analista propõe uma solução customizada, a técnica proposta não está em mãos para a demonstração, o que torna mais difícil a tarefa, já árdua, de convencer o empresário de que tal técnica irá gerar

bons resultados. É neste momento, que se opta por algo já pronto, às vezes longe da realidade em questão.

Dentro da categoria customizados, destacam-se a programação de algoritmos meta heurísticos, que empregam técnicas modernas de *Busca Tabu*, *Simulated Annealing*, *os Algoritmos Genéticos*. Os três métodos baseiam-se em variações aleatórias das soluções como forma de obtenção de solução viáveis.

O surgimento de nova tecnologia na Inteligência Artificial, os sistemas especialistas e *Redes Neurais* permitem novos horizontes em Pesquisa Operacional, na formulação de modelos aliados a *hardware e software* sofisticados, possibilitando soluções mais flexíveis com o usuário e assim impulsionar o surgimento de sistemas customizados para resolver maiores problemas.

4.7.2 O uso de inteligência artificial na roteirização de veículos

As técnicas disponíveis em sistemas de apoio à decisão podem ser aliados na busca da solução ótima para a roteirização. O uso de técnica de Inteligência Artificial contempla a base de conhecimento sobre o tema, pois modelam problemas reais e fornecem saídas rápidas com base no algoritmo empregado.

DESROCHERS et al. (1990) propuseram um esquema para classificação com o intuito de ajudar os analistas a escolher, dentre inúmeras técnicas, a mais adequada. Trata-se de um sistema de apoio à decisão que modela as situações específicas de cada problema e sugere os algoritmos que seriam, então, aplicáveis aos modelos resultantes. Este sistema representa e manipula informação em três níveis. No primeiro nível, estão as situações da vida real, que inclusive podem conter informações irrelevantes à obtenção da solução. No segundo nível, estão problemas de tipo abstrato, que são obtidos a partir das descrições do nível anterior, considerando as restrições e os objetivos. No terceiro nível estão os algoritmos, que dependendo do problema recém – descrito, serão então selecionados.

Este método fornece valiosa ajuda ao analista na identificação do problema com o qual se confronta. A descrição adequada dos aspectos do problema no sistema

capacita um gerente de distribuição, mesmo inexperiente, a tomar decisões, dando as seguintes características à questão: demanda determinística, localização sobre pontos distantes na rede, grafo não orientado, único veículo que deve passar pelo conjunto de nós exatamente uma vez e, então, concluir que se trata do célebre problema do caixeiro viajante.

POTVIN et al. (1989) desenvolveram o ALTO, um sistema gráfico e interativo projetado para facilitar a roteirização de veículos. O ALTO possui uma heurística geral e pode reproduzir uma vasta classe de problemas já documentados na literatura ou pode ser usado para criar novas estratégias de resolução para problemas complexos. Para isso, uma linguagem de programação orientada a objetos foi usada para implementar o sistema. O paradigma da orientação a objetos foi escolhido porque os problemas de roteirização podem ser modelados como um conjunto de aspectos relacionados.

O ALTO se destina aos itinerários de veículos quando as demandas se encontram sobre os nós. Seus três maiores componentes são os objetos, os operadores básicos e a seleção e manipulação dos mecanismos. Os objetos representam a parte declarativa do sistema; eles contêm atributos como, capacidade do veículo, coordenadas, demandas e número de veículos. São quatro os operadores básicos do ALTO: INIT que cria e inicializa novas rotas, o ADD, que insere novas paradas às rotas existentes, o MERGE, que agrupa as rotas e o EXCHANGE, operador usado para modificar a sequência de paradas numa rota existente. A manipulação dos mecanismos de derivação de soluções do sistema faz uma seleção entre os algoritmos da sua base e o apresenta ao usuário através de uma interface amigável. Uma aplicação real do sistema foi feita para enfatizar sua flexibilidade.

O ALTO é uma ferramenta sofisticada para projetar e testar novos algoritmos de roteirização, diferente do sistema descrito por DESROCHERS et al. (1990). É direcionado a especialistas no projeto de algoritmos. Com este sistema, são possíveis desenvolvimentos interessantes na área de sistemas especialistas, ao “treinar” o ALTO a partir de suas experiências passadas e com isto melhorar seu comportamento para gerar boas soluções.

4.7.3 Programação algorítmica na roteirização

A implementação de heurísticas para a roteirização através de programas para soluções específicas também são soluções customizadas. Uma vez que restrições complicadas vão sendo acrescentadas no modelamento do problema, achar uma medida de desempenho para a implementação de heurísticas que capte a noção de ‘boa solução’ torna-se bastante difícil. A noção de *qualidade da solução* está diretamente associada ao modo como o analista avalia as rotas geradas e a evidência empírica deste processo deve ser alcançada na prática. Talvez um meio para avaliar esta *qualidade de solução* de um sistema destes é saber antes do analista o que ele espera da solução a ser gerada. Segundo ASSAD (1988), esta noção de *qualidade da solução* às vezes requer informação detalhada da base de dados e esta, por sua vez, sempre inexiste ou se encontra cheia de erros.

Os termos relacionados à noção de *qualidade de solução* e a barreira homem/máquina no processo decisório mencionados são considerações cruciais na formulação e implementação de um modelo. Quais conjuntos de restrições e características o modelo deveria incluir e em qual forma? Como os algoritmos deveriam ser desenvolvidos para apresentar soluções viáveis respeitando estas restrições? São respostas que dependem do não tratamento que a inclusão destas restrições causam nas técnicas a elas associadas.

4.7.4 Sistema de informação geográfica para roteirização de veículos

O segundo maior desenvolvimento tecnológico da metade da década de 80 foram sem dúvida os SIG comerciais. Estes têm revolucionado o modo de visualização da base de dados, de forma altamente interativa e precisa. Existem vários SIG de base de dados visual e interativa que vão ao encontro das necessidades dos usuários. A capacidade que cada sistema pode oferecer varia de cliente para cliente (ROWE,1997).

Outra alta tecnologia disponível comercialmente são os equipamentos para captura de dados via-satélite, os GPS, que podem ser integrados a um sistema SIG, aumentando ainda mais sua precisão e aprimoramento. O conjunto de aparelhagem, GPS, é composto por uma antena e um receptor que capturam dados referentes às coordenadas de um ponto localizado sobre a superfície da terra, dos mares, dos oceanos. Captura também imagens aéreas enviando-os para um sistema SIG, desde que haja integração destes sistemas. Os SIGs representam e analisam dados geográficos obtidos. As informações disponíveis são transformadas em dados 3D com animação. A impressão provocada pela representação dos dados animados no usuário é de que pode se “locomover” entre ou “voar” sobre estes. Imagens aéreas e de satélites também podem ser vistas em três dimensões. Existem também, junto destes, mapas mais simples em 2D para navegação e localização de veículos. Alguns destes sistemas requerem instalações no disco rígido do computador; outros vem em CD-ROM prontos para serem manipulados. Tais informações estão sendo empregadas nas mais diversas áreas e são de grande valia na roteirização de veículos, para serviços de mensageiros e sobretudo, para a segurança dos motoristas de veículos de cargas.

Os sistemas básicos de navegação equipam o veículo com um mapa digitalizado da rede de estradas que corresponde à visão que ele tem do veículo em movimento, num mapa da região, mostrada num monitor. Assim que o veículo se torna o centro do mapa, este vai sendo atualizado, sempre mostrando ao motorista a “nova” visão à medida que o veículo se move. O monitor é pequeno, medindo 4,5 a 7 polegadas com capacidade para mostrar ao motorista uma área de 1 km² nos níveis mais elevados de detalhamento. O motorista tem acesso a uma visualização da sequência crescente de mapas agregados, com um SIG preciso, a partir desde nível de detalhamento. O usuário pode localizar todos seus clientes automaticamente e computar os menores tempos de viagem entre esses.

Criar um SIG e mantê-lo atualizado pode aumentar significativamente o custo de um sistema para roteirização de veículos, pois o usuário terá que adquiri-lo, customizá-lo e mantê-lo integrado a um sistema principal. Porém existem duas razões principais para este custo extra: tempo de viagem mais preciso e qualidade de solução.

A primeira delas é o cálculo exato dos tempos de viagem, um dos mais importantes parâmetros em qualquer problema de roteirização de veículos e, sem um *SIG*, estes tempos são geralmente calculados em função de distâncias aproximadas. Quanto mais precisos forem os dados sobre os quais serão calculados os menores caminhos, mais exatos serão os resultados dos algoritmos empregados, porém levarão mais tempo para serem processados.

TABELA 4.4 – Os principais programas para a roteirização de veículos que trabalham com as bases SIG.

Produto	Publicação	Número de paradas	Número de veículos	Número de depósitos	Roteirização tempo real	Roteirização diária	Planificação de rotas	Produtos que fazem a interface com S/G	Alocação motoristas às rotas	Movimento por rota	Entrega ou coleta domicílio
1.GeoRoutes	Kositzky & Associates, Inc.	4,600	512	256	sim	sim	sim	GeoWhiz	sim	sim	sim
2.GeoRoutes5	GIRO Enterprises, Inc.	ilimitada	ilimitado	ilimitado	não	sim	sim	ArcInfo, MapInfo	não	sim	sim
4.LoadExpress Plus	Information Software, Inc.	ilimitada	500	ilimitado	não	sim	sim	Proprietary, can work with data from all GIS systems	sim	sim	sim
5.Manugistics Routing & Scheduling	Manugistics, Inc.	ilimitada	ilimitado	ilimitado	sim	sim	sim	Xeta, Rockwell, Cadec, Autoroach	sim	sim	sim
6.OVERS	Bender Management Consultants	10,000	1,000	100	sim	sim	sim	Map Objects	sim	sim	sim
7.RIMMS	Lightstone Group, Inc.	ilimitada	ilimitado	ilimitado	sim	sim	sim	ERSI shape files	sim	sim	sim
8.ROADNET 5000	Roadnet Technologies Inc.	ilimitada	ilimitado	ilimitado	não	sim	não	GDT maps	sim	sim	sim
9.RoadShow for Windows	ROADSHOW International, Inc.	8,000	ilimitado	ilimitado	sim	sim	sim	GDT, Etak, MapInfo and proprietary software	sim	sim	sim
10.RoutePro	CAPS LOGISTICS	HW-based	HW-based	HW-based	sim	sim	sim	Etak, Horizons Technology, GDT, PCMiller	sim	sim	sim
11.RouteSmart Point-to-point	RouteSmart Technologies	ilimitada	ilimitado	1+Intermediates	não	sim	sim	ArcView version 3.0	não	sim	sim
12- SHIPCONS II	Insight, Inc.	ilimitada	ilimitado	ilimitado	não	sim	sim	GDT MapInfo, Etak	não	não	sim
13- TransCAD	Caliper Corporation	ilimitada	ilimitado	ilimitado	sim	sim	sim	Maptitude, GIST, can work, with data from all GIS systems	não	sim	sim
14- TruckStops for Windows	Micro Analytics	16,000+	16,000+	16,000	não	sim	sim	Any product able to apload data via ASCII file	sim	não	sim

Fonte: http://lionhrtpub.com/orms/surveys/Vehicle_Routing/Vehicle_Routing_Survey.html

CAPÍTULO 5

5. Metodologia

O método empregado no estudo de caso será evidenciado neste capítulo. Ele começa fazendo um confronto entre os métodos de solução utilizados por muitas empresas e os procedimentos adotados neste. Em seguida, expõe a forma de obtenção dos dados, fala do software e seus recursos aplicados, encerrando o capítulo com uma relação metódica dos procedimentos.

5.1 Abordagens dadas na resolução de esquemas de entregas

Os procedimentos adotados na sistemática de entregas são divididos em duas abordagens. Uma, na fase de planejamento do sistema, quando não se tem a definição das zonas e frota necessária para atender a demanda, nem mesmo a quantidade e localização desta. Nestes casos, as análises, juntamente com as tomadas de decisões são feitas com base em estimativas da localização adequada de depósitos e futuros pontos de atendimentos. Outra, na fase de operação, quando o sistema já está funcionando. Nestas situações as análises concentram-se em soluções que otimizem a configuração existente. Estas soluções podem ser obtidas através de procedimentos detalhados, sob um mapa digitalizado, com dados georeferenciados, de procedimentos aproximados, quando não se dispõe de sistemas de roteirização, ou mesmo, tê-los ainda em fase de implantação e customização.

O presente trabalho aborda a fase operacional da definição dos roteiros e áreas de entregas de bebida sob dois procedimentos distintos pela forma de representação da

rede, descritos a seguir. A principal razão por se trabalhar com estas duas formas foi a necessidade de análises comparativas entre as suas soluções e que podem ser facilmente geradas pelo SIG-T *TransCAD*.

5.2 Procedimentos adotados

Os procedimentos foram realizados em etapas. Primeiramente, obteve-se de um coeficiente de correlação entre a distância em linha reta e a distância em rede (efetiva), através do ajustamento da reta à origem do eixo *xy*, usando-se procedimentos estatísticos, descritos em Anexo. Logo após, definiram-se os roteiros através das distâncias euclidianas (em linha reta) entre os pontos e, em seguida, com o mapa base digitalizado e os sentidos dos *links* atualizados, de acordo com o novo plano de operação do sistema viário e atribuição de valores das velocidades, estabeleceram-se os itinerários e seqüências de entregas. A última etapa, consistiu numa nova divisão geográfica das zonas de entregas, mas visando a minimização de percursos mantendo um bom nível de serviço.

5.2.1 Procedimentos usando distâncias de percurso aproximadas

Para muitas empresas, o processo de distribuição acontece de forma intuitiva e grosseira, por não disporem de roteirizador ou porque o porte da cidade em questão ou o tamanho da demanda ainda não justifiquem a aquisição destes. Geralmente procedimentos empíricos determinam a alocação dos clientes às rotas. Nestes casos, os roteiros são traçados de forma manual, com estimativas de valores para as distâncias, baseado num estudo prévio dos trechos mais utilizados. As distâncias são obtidas diretamente do mapa e os roteiros e seqüências de entregas são traçados. Assim sendo, são necessárias as correções das distâncias euclidianas para distâncias efetivas de percurso. Inicialmente é feito o zoneamento dos pontos de entregas, definindo-se os roteiros com as respectivas distâncias e tempos despendidos na operação, considerando-se: taxa de ocupação das áreas, unidade de serviço (veículo

de entrega, depósito), índice qualitativo dos clientes, como critérios para a divisão das zonas e os respectivos pontos à serem atendidos.

No presente trabalho, na execução desta etapa, criou-se uma rede representada por distâncias euclidianas, com a determinação das coordenadas de cada ponto, seguido dos cálculos das respectivas distâncias entre estes. A aproximação dos resultados à realidade foi conseguida multiplicando-se as distâncias pelo fator de correção, obtido através de regressão linear entre distâncias euclidianas e efetivas.

Para o cálculo do *coeficiente de correção* tomaram-se 410 pares de pontos sorteados, da malha urbana de São Carlos. Foi colhida uma amostra piloto, inicialmente com n' elementos, escolhidos ao acaso e, com base nesta, obteve-se uma estimativa do número adequado de ligações, empregando a equação 4 do apêndice 1. A corroboração dos resultados obtidos foi dada através da análise comparativa entre o uso de dados aproximados e reais, retirados dos endereços visitados por um dos veículos. A partir daí, traçou-se um eixo arbitrário xy num mapa base e determinaram-se as coordenadas dos pontos. Obteve-se a matriz de custos (distância euclidiana) entre todos os pontos através do *TransCAD* e esta foi multiplicada pelo coeficiente de correção obtido. Finalizando, desenhados os roteiros de entregas, sobre o plano cartesiano delineado no mapa de suporte.

A métrica euclidiana gera soluções aproximadas boas e manualmente factíveis como descreveram LARSON & ODONI (1981) ao avaliarem medidas de comprimento de rotas para o *caixeiro viajante* usando esta métrica. Observaram que a configuração das rotas ótimas (solução exata) para o *caixeiro viajante* é praticamente a mesma, quando da utilização da distância euclidiana.

O processo de estimação das distâncias através da métrica euclidiana nos itinerários concentra-se na obtenção do mínimo percurso global. A menor distância entre dois pontos nem sempre é inserida no roteiro de menor caminho. LARSON & ODONI (1981) traçaram roteiros e concluíram que, de forma geral, uma dada rota do *caixeiro viajante* varia em proporção à raiz quadrada da área na qual ela está contida. Os autores observaram que a extensão ótima total dos roteiros, a que passa exatamente

uma vez pelos pontos pode ser obtida multiplicando-se a raiz quadrada da área atendida por uma constante k .

5.2.2 Procedimentos automatizados e distâncias euclidianas corrigidas

Num segundo caso estão aquelas empresas que não têm roteirizador combinado com um *SIG*, ou que possuem modelos de roteirização implementado à um *SIG*, na fase de digitalização do mapa base. Nestas situações é necessária a formulação de procedimentos, que forneçam respostas rápidas e eficientes, numa base diária. É o caso do uso do *software TRUKSTOPS*, que solicita um banco de dados com as coordenadas dos pontos a serem visitados e parâmetros para calibração das coordenadas dos pontos de origem e destino. Nestes casos, também se faz uso de um eixo cartesiano xy arbitrário, na aplicação do fator de correção e obtenção das distâncias de percurso aproximadas, para auxiliar no desenho das rotas e seqüências de entregas. Ressalta-se a importância desta correção, haja vista a rede de transporte não apresentar características topológicas e geomorfológicas homogêneas. Enquanto que em alguns trechos a diferença dos valores efetivos e em linha reta pode ser praticamente zero, noutros, essa diferença poderá significar alguns quilômetros a mais.

Neste trabalho, a adequação e aplicação desta etapa foram executadas com auxílio do *TransCAD*, sendo necessário para tanto a criação de arquivos geográficos com informações sobre os clientes da distribuidora de bebidas, das áreas de atendimentos e da localização do depósito (Figura 5.1). A partir daí foram iniciadas as simulações, minimizando distâncias, para a distribuidora atender toda a demanda, com a matriz de custos (de deslocamento) calculada. Em casos onde o *software* não esteja disponível, esta matriz pode ser obtida manualmente. Naqueles, onde o *software* disponível ainda não possua o mapa digitalizado, a matriz de custo pode ser obtida, através da atribuição das coordenadas dos pontos e por conseguinte as distâncias euclidianas entre estes. Este procedimento permitirá fazer análises comparativas entre soluções obtidas com distâncias aproximadas e distâncias reais, em termos de rapidez de respostas.

Também foi possível a definição dos pontos de entregas por veículos, através da matriz de custos (distância em linha reta), usando rotinas disponíveis no *software*, descritas mais adiante. Para tanto foram usados os dados obtidos do segundo dia de entregas. A justificativa de se empregar os dados somente do segundo de dia das operações se deveu ao fato do sistema ter sofrido significativa alteração neste dia, dando oportunidade para se planejar diferentes alocações dos pontos aos veículos, dentro da área estudada, sem a interferência nos resultados de uma pré-definição. Desta forma, conseguir-se-á analisar a situação atual e uma situação proposta, gerando-se soluções para futuras redefinições das áreas servidas.

FIGURA 5.1 – Distribuição espacial dos pontos de entrega por área atendida e depósito em São Carlos

5.2.3 Procedimentos automatizados usando distâncias em rede

Além das informações sobre os estabelecimentos de entregas de bebidas, esta etapa contou com dados sobre o sistema viário urbano (mapa digitalizado). São informações sobre velocidade média (km/h) e sentido nos arcos, comprimento e tempo de viagem, fundamentais para a geração da rede de caminhos mínimos no processo de roteirização. A disponibilidade do mapa possibilitou o uso da ferramenta de busca por endereço para criação dos arquivos geográficos dos estabelecimentos e unidade serviço. Sobre a rede mínima gerada, calculou-se a matriz de custos (distâncias de percurso). A atualização dos sentidos dos arcos, segundo o novo plano de operação do sistema viário e atribuição das velocidades médias, necessários à realização das simulações, demandaram tempo considerável.

O pacote *TransCAD* gera rapidamente rotas de veículos e fornece relatórios sintéticos das rotas, com as seguintes informações: hora que o veículo chegou no ponto, sequência destes, tempo total de serviço e de espera, tempo e distância total de viagem, carga total e custo esperado da rota.

O trabalho com a rede também possibilitou a manipulação dos dados para delimitação das zonas de entregas, com os dados obtidos no segundo dia de entregas. Com esta demarcação foram traçados roteiros e comparados às rotas definidas pela distribuidora, usando-se para isso as rotinas disponíveis no *software*. Através deste procedimento foi possível comparar as rotas otimizadas para as áreas já definidas e às rotas traçadas com a nova delimitação. Também permite avaliar o resultado obtido com a definição das áreas usando a matriz de custos estimados (distâncias euclidianas) com o obtido usando matriz de custos efetivos (distâncias em rede).

5.3 Aquisição, entrada e processamento dos dados

Os dados referentes ao sistema viário da cidade foram provenientes de levantamento aerofotogramétrico e digitalizados (Figura 5.1), com auxílio de uma mesa digitalizadora 12"x12", com mapas atualizados da cidade na escala 1:10.000, cedidos pela prefeitura, e recursos do *software TransCAD* (SILVA et al., 1996).

A aquisição de dados dos pontos de vendas, necessária à aplicação do modelo escolhido, foram reunidas seguindo o esquema operacional da distribuidora. São informações sobre endereços dos estabelecimentos situados nas áreas estudadas. Foram anotadas num mapa da região as delimitações das zonas e respectivos pontos. A adaptação dos dados à base digital foi executada com auxílio de plantas do zoneamento da prefeitura, para alocação da população estudada aos nós (cruzamento) mais próximos. Também fez-se um levantamento com veículo particular, haja vista alguns logradouros sem nomeação e endereços sem cruzamento próximo. No caso específico da distribuidora de bebidas, isso não prejudicou as análises, visto que a maioria dos pontos estavam situados nestes nós. Essa etapa exigiu tempo considerável e, em alguns casos, foi necessário modificar a rede para criar os nós com a localização exata dos pontos, devido a existência de logradouros ainda não nomeados e plantas do zoneamento da prefeitura desatualizadas. Uma completa localização dos endereços, através do *software*, exigiria uma base digitalizada com informações dos lotes: nome dos logradouros, número e CEP – Código de Endereçamento Postal, A Tabela 5.1 mostra uma base de dados, representada pela rota do setor de entrega 3.

TABELA 5.1 – Informação sobre os arcos no arquivo geográfico

ID	Length	Dir	Name	time_min	speed	[Left ZIP]	[Right ZIP]	[Start Left]	[End Left]	[Start Ri
6413	0.09	-1	AV DR CARLOS BOTELHO	0.194	28	1356	1356	--	--	
8837	0.18	-1	AV DR TEIXEIRA DE BARROS	0.396	28	1356	1356	--	--	
2387	0.05	0	AV SAO CARLOS	0.114	28	1356	1356	--	--	
5545	0.26	-1	AV TRABALHADOR SAO CARLENSE	0.560	28	1356	1356	--	--	
7758	0.10	1	RUA 13 DE MAIO	0.216	28	1356	1356	--	--	
6682	0.09	0	RUA 15 DE NOVEMBRO	0.193	28	1356	1356	--	--	
7354	0.42	0	RUA 28 DE SETEMBRO	0.898	28	1356	1356	--	--	
7371	0.10	-1	RUA 7 DE SETEMBRO	0.225	28	1356	1356	--	--	
3391	0.08	-1	RUA 9 DE JULHO	0.180	28	1356	1356	--	--	
3446	0.14	0	RUA ALEXANDRE BARROS	0.290	28	1356	1356	--	--	
6191	0.09	0	RUA ANTONIO BLANCO	0.202	28	1356	1356	--	--	
3669	0.07	1	RUA ANTONIO BOTELHO	0.148	28	1356	1356	--	--	
3698	0.11	1	RUA ANTONIO DE ALMEIDA LETTE	0.246	28	1356	1356	--	--	
7504	0.10	1	RUA EPISCOPAL	0.219	28	1356	1356	--	--	
7788	0.10	1	RUA MAJ JOSE INACIO	0.210	28	1356	1356	--	--	
6539	0.11	1	RUA MAL DEODORO	0.227	28	1356	1356	--	--	
4480	0.21	0	RUA MIGUEL PETRONI	0.357	35	1356	1356	--	--	
6841	0.11	-1	RUA PE TEIXEIRA	0.233	28	1356	1356	--	--	
6709	0.10	1	RUA SAO SEBASTIAO	0.208	28	1356	1356	--	--	
6395	0.04	-1	RUA TIRADENTES	0.096	28	1356	1356	--	--	

Delayview, Records 1 - 20 of 20 (7136 Total) | Network: C:\REDECE.NET

O armazenamento dos dados foi precedido pela alocação dos pontos nos cruzamentos e pela aplicação da rotina de busca por endereços, para a criação de dados geográficos destes endereços no mapa digitalizado. A formação da base de dados totalizou 492 pontos de vendas e o depósito. Também foram inseridos aos dados de atributos geográficos, pontos referentes aos endereços dos motoristas, visitados pelos motorista na pausa para o almoço, durante a execução dos itinerários.

O sistema foi alimentado com informações sobre demanda, tempo de serviço, dados sobre os veículos e outras características particulares. Os arquivos geográficos foram criados através da localização automática de endereços. Os comandos para localização exigem um sistema viário digitalizado com informações do tipo: logradouros, numeração, CEP. Estes usam diferentes métodos para identificá-los no mapa: localização por endereço, por coordenadas, pelo código CEP ou por valor. Os dados obtidos contavam com informações dos endereços dos clientes, do depósito e o mapa digitalizado com o nome dos logradouros, o que possibilitou a localização dos clientes junto as interseções mais próximas. Os dados sobre clientes e unidades de serviços (veículos), obtidos com a distribuidora, foram adicionados à base de dados em forma de tabelas, como mostram as Tabelas 5.2 e 5.3.

TABELA 5.2 – Representação dos dados sobre a frota de veículos

VEHICLE				
DEPOT_ID	NUM_VEIC	TYPE	CAPACITY	COST
47	2	VOLKSWAGEM	7000	1
47	4	MERCEDES 608	4500	1
47	4	MERCEDES TOC	7000	1

TABELA 5.3 - Base de dados com endereços dos clientes

ROTA A (ZONA3)								
ID	CLIENTE	ENDERECO	ABRE	FECHA	T_FIX	DEMANDA	TAG_ID	
57	MECCA E ASFALTO	RUA CAP LUIZ BRANDAO AND RUA CRESCENSO C	800	1800	10.00	1	4029	
2	MARCELO REGINALDO ZANGOTTI	RUA DA IMPRENSA AND RUA DO PARQUE	800	1800	10.00	1	4022	
3	MERCADINHO TROPICAL	RUA DR BENJAMIN LOPES OSORES AND RUA MAI	800	1800	10.00	1	3174	
5	ELVIRA OLIVATTO NORDI	RUA DA IMPRENSA AND RUA PE TEIXEIRA	800	1800	10.00	1	4022	
6	FRANCISCO ALVES DOS SANTOS	RUA DOMINGOS DE ANGELO AND RUA ANTONIO	800	1800	10.00	1	4420	
7	JOSE EDEZIO DE BRITO	RUA DOM CARMINE ROCCO AND RUA DR BENJAM	800	1800	10.00	1	4338	
8	JOSEFA RAIMUNDA DA SILVA	AV JOAO DE LOURENCO AND RUA BRUNO LAZAR	800	1800	10.00	1	3027	
9	LEIVA E LEIVA SAO CARLOS	AV JOAO DE LOURENCO AND RUA LUIZ GUALTIER	800	1800	10.00	1	3051	
10	LUIS C MOREIRA DA SILVA	RUA TEOTONIO VILELA AND RUA VER JOSE PERE	800	1800	10.00	1	4401	
11	LUIZA AP JORGE DO AMARAL	AV JOAO LOURENCO AND RUA BRUNO LAZARINI	800	1800	10.00	1	2957	
12	LUZVALDO JOSE VICENTE	RUA DR BENJAMIN LOPES OSORES AND RUA AFF	800	1800	10.00	1	3168	
14	NELSON MECCA PINTO	AV CAP LUIZ BRANDAO AND RUA JOAQUIM EDUA	800	1800	10.00	1	4027	
15	NILZA GONCALVES VICENTE	RUA TEOTONIO VILELA AND RUA ANTONIO MICUI	800	1800	10.00	1	4411	
16	REGINALDO SCIESCIA ME	RUA ONOFRE GONCALVES AND AV CAP LUIZ BRA	800	1800	10.00	1	4308	
56	FAZENDA STA MARIA	ROD WASHINGTON LUIZ	800	1800	10.00	1	2912	
36	PASCHOAL CRUZ	RUA RAY WESLEY AND RUA ARAGUAPEI	800	1800	10.00	1	2727	
37	MASSAS E FRIOS VIEIRA	RUA RIO NEGRO AND RUA RIO ARAGUAPE	800	1800	10.00	1	2761	
38	OLIVEIRA E SILVA	RUA RIO TAPAJOS AND RUA RIO PARANA	800	1800	10.00	1	2749	
39	PEDRO IEMBO	RUA RIO TAPAJOS AND RUANEUSA AP MARQUES	800	1800	10.00	1	2751	
40	JOSE M RODRIGUES SOUZA	RUA MOGIGUACU AND RUA RIO TAPAJOS	800	1800	10.00	1	2753	
41	EVAN FERNANDO AGUIAR	RUA ARAGUAPE AND RUA RIO PARANAPANEM	800	1800	10.00	1	2755	
42	RITA DE CASSIA NOGUEIRA	RUA RIO PARANA AND RUA RIO AMAZONAS	800	1800	10.00	1	2733	
43	JOSE MOREIRA DOS SANTOS	RUA RIO TIETE AND RUA TOCANTIS	800	1800	10.00	1	2775	
44	MOREIRA E ROGINSKI	RUA RIO GRANDE AND RUA AMAZONAS	800	1800	10.00	1	2737	
45	BAR REST COMIDA CASEIRA	ROD WASHINGTON LUIZ	800	1800	10.00	1	3554	

D:\view. Records 1 - 25 of 35

Network: C:\FEV_10\CELY.NET

5.4 Descrição do software e seus recursos

A introdução e processamento de dados foram facilitados com a utilização de *software* e equipamentos disponíveis. O *software* utilizado foi a mais nova versão do pacote *TransCAD*, 3.2, que além das vantagens proporcionadas por um SIG, mencionadas em capítulo anterior, tem módulo específico que trata de logística e roteirização, compostos em capítulos por abordagens: problemas de fluxos em rede, localização de instalações, distritamento, agrupamento e roteirização em arcos e em nós. As rotinas adotadas para o caso estudado, definição de roteiros e zonas de entregas, foram: roteirização de veículos e agrupamento/particionamento.

A rotina agrupamento trabalha em conjunto com a rotina distritamento e particionamento, ambas envolvem a criação de blocos com base na proximidade ou similaridade. É usada para definir tamanho de salas em serviços de vendas, formar

grupos de residências visitadas por veículos para prestação de serviços de forma a reduzir custos de viagem e fazer divisão política de distritos, etc.

O objetivo da rotina de agrupamento é a criação de grupos que são tão compactos quanto possíveis, respeitando o limite de tamanho para cada grupo. Para tanto, deve ser identificada a capacidade dos grupos e criada a matriz de custos de distâncias entre os pontos que se queiram agrupar. É possível fazer grupos com qualquer tipo de características, inclusive agrupar pontos, linhas ou áreas. O resultado é a definição dos pontos iniciais, as “sementes”, para a divisão das zonas.

Com a rotina particionamento é possível definir o tamanho da área de atuação para cada motorista numa operação de entrega e/ou coleta para garantir custos de viagem semelhantes. No entanto a utilização desta rotina exige, além da criação da matriz de custos, uma de adjacência, com contigüidade e compacidade das zonas, o que significa trabalhar apenas com camadas de áreas.

A rotina *vehicle routing* (roteirização de veículos) equaciona, resolve e mostra diferentes serviços de coleta e/ou entrega que servem a um conjunto de paradas (demanda) para um conjunto de depósitos (oferta). Com extensão para *janela de tempo*, este procedimento resolve complexos problemas com restrições de horário de partida, comprimento da rota, capacidade do veículo e coleta de retorno, como ilustra a Figura 5.2. Uma das melhoras proporcionada pela nova versão do *TransCAD*, 3.2, é poder trabalhar com serviço misto, entrega e coleta de retorno, além da opção de escolha de veículo de diferentes capacidades (veículos mais velhos são alocados à rotas mais curtas) e trabalhar com múltiplos depósitos. Neste caso, os pontos de coleta de retorno poderão ser alocados a um depósito particular ou automaticamente direcionados para o mais próximo.

Vehicle Routing with Time Windows

Routing Matrix File: VRP Distance Matrix File

Vehicle Table: VEHICLE

Stop Layer: ROTA 3

Stop Settings (1 depot, 34 stops)

Depot Set: DEPOSITO

Stop Set: PARADAS

Name: NAME

Demand: DEMANDA

Depot Assigned:

Open Time: HORA_ABRE

Close Time: HORA_FECHA

Fixed Time: TEMPO_FIXO

Time per Unit: TEMPO_UND

Vehicle Settings (1 record)

Vehicle Set: All records

Depot ID: DEPOT_ID

Type: TYPE

Capacity: CAPACITY

Cost: COST

Vehicles: NUM_VEIC

Routing Options

Maximum Route Length (hrs): 9

☐ Include Backhauls

OK Cancel Options...

FIGURA 5.2 – Nova janela para a rotina *vehicle routing* dada pelo programa.

De forma abrangente, a execução desta rotina exige quatro passos: preparação da entrada de dados, a criação da matriz de roteirização, a execução propriamente dita da rotina e a saída das informações (apresentação gráfica e tabular).

A preparação da entrada de dados se refere a criação dos arquivos geográficos, com a localização das paradas e do depósito, acompanhados das características de cada um. Esta etapa é fundamental ao optar por representar a matriz de distâncias com base na rede digitalizada.

Na criação da matriz de roteirização, através do procedimento *vehicle routing*, pode-se optar pelo cálculo com base nas distâncias em rede ou nas distâncias euclidianas. Neste último caso, a distância é multiplicada por um fator de correção convencional, 1,3. Quando se tem um valor particular do fator de correção pode-se optar por construir a matriz usando o comando *Matrix-Fill*, para preencher a matriz com o valor desejado. Este método não exige a preparação da rede, nem o uso do comando *Edit-Fill TAG* para conectar os atributos de camadas diferentes à rede (mapa digitalizado), porém o TransCAD não poderá mostrar as rotas no mapa.

Esta matriz pode ser criada sem o uso do procedimento *vehicle routing*, porém deve satisfazer algumas regras. O arquivo da matriz deverá conter duas matrizes, a primeira com valores das distâncias ou tempo a serem minimizados, sendo a matriz de tempo calculada em minutos. A matriz deverá ter ao menos três linhas e três colunas e deverá ser quadrada, com os valores da diagonal iguais a zero.

Por outro lado, quando se opta por trabalhar com rede, pode-se escolher entre minimizar distância ou tempo. Na minimização por tempo, deverão ser informadas as velocidades para cada *link* e tempos mínimos de travessia nestes. Caso as velocidades nos *links* sejam diferentes, a matriz tempo obtida ao minimizar distâncias é diferente da matriz ao minimizar tempo.

Durante a execução da rotina propriamente dita, pode-se escolher qual ou quais os depósitos irão servir e qual ou quais paradas serão servidas, identificar o veículo à cada roteiro, especificar a demanda por parada e optar por trabalhar com coleta de retorno, sendo necessário, assim, selecionar as paradas a operar neste regime e criar a matriz de roteirização contendo as paradas e os depósitos.

Ao se trabalhar com a matriz de distância em rede é possível definição e visualização dos roteiros resultantes nos mapas e relatórios dos itinerários em forma de textos e planilhas. Nos mapas aparecem as paradas por rota e o traçado desta, com seqüência, comprimento, nome de *link* etc. Nos textos são descritas informações gerais em arquivos de entrada e saída de dados, demanda total dos serviços e total de paradas. As tabelas mostram a descrição detalhada de todo o processo. No caso das informações produzidas com base nas distâncias euclidianas, estas são mostradas em forma de tabelas e textos, sem no entanto apresentar a visualização das rotas e seqüências de pontos nos mapas.

A heurística implementada na rotina está baseada no método clássico de *CLARKE & WRIGHT*, descrita em capítulo anterior. Esta heurística foi preparada por *SOLOMON* (1986) para trabalhar com restrições de janela de tempo, problemas de um único depósito e múltiplos veículos, problemas com tempo de serviço fixo ou variável.

O modelo clássico começa com uma solução inicial gerando rotas completas onde cada usuário é atendido por um único veículo. Depois combina-se dois usuários num mesmo veículo na tentativa de reduzir o custo global (por este motivo é chamado de método das economias). A iteração de menor custo resultante é usada como solução. Em geral, quanto maior o número de passos realizados, maior é a probabilidade de se encontrar uma solução mais próxima da ótima. Segundo CALIPER (1996) uma rota uma vez construída com a heurística de *CLARKE & WRIGHT* não poderá mais ser removida, podendo limitar a formação de grupos de rotas subsequentes que poderiam gerar resultados melhores.

O programa usa um parâmetro de forma da rota para dar maior ou menor ênfase ao custo de viagem entre os nós, dependendo de suas posições em relação ao depósito central. Seu nome deriva da formação de diferentes rotas, quanto se altera algum parâmetro na busca da rota de melhor desempenho. Este parâmetro foi adicionado ao modelo original de *CLARKE & WRIGHT* por YELLOW (1970), conforme visto em capítulo anterior. O valor do parâmetro de forma da rota poderá ser alterado, dando diferentes valores de custos (distância ou tempo). O menor deles será adotado como resultado final. Alguns estudos revelaram que o menor valor de custo é conseguido quando adota-se o valor para o parâmetro de forma da rota igual a um.

Conforme BELHOT (1993), pela variação do parâmetro de forma da rota é possível formar várias soluções, consideravelmente boas, dentro das quais a solução final pode ser escolhida, de acordo com alguns critérios.

Outro fator considerado pela rotina é a opção de escolha entre dois métodos de inicialização do algoritmo. O programa está preparado para construir a rota parcial selecionando o cliente mais afastado e adicionando-o ao roteiro. Porém o algoritmo pode inicializar com a opção de inserção do cliente mais próximo do último nó inserido.

A rotina não está preparada para solucionar os seguintes serviços:

- Produtos heterogêneos: vários diferentes produtos podem ser entregues num mesmo veículo, mas alguns veículos tem restrições com o tipo de carga a transportar;
- Rota de entrada e saída: veículos não necessitam retornar ao depósito no fim do roteiro, ou podem visitar um ou mais depósitos no início ou no final de cada rota.
- Outras restrições: quando as paradas devem ser visitadas num ordem exata, ou há regras de trabalho ou regulamentos que impõem outros tipos de restrições às rotas a serem desenvolvidas.

5.5 Relação metódica dos procedimentos aplicados

1. Obtenção de mapas atualizados da cidade junto às autoridades responsáveis pela operação do sistema viário.
2. Coleta de dados referente à direção dos *links* e das velocidades para vias principais, do sistema viário da cidade.
3. Digitalização de dados geográficos relacionados à malha viária com os sentidos dos *links* e velocidades das principais vias, segundo plano de operação atual. Esta etapa levou tempo considerável e foi paulatinamente concluída no desenrolar do trabalho.
4. Construção da rede de transporte, considerando tempo de percurso nos *links*, precedida pela geração do arquivo com as devidas penalidades de movimento atribuídas ao caminhão (proibição de retorno em “U”, travessias em calçadas).
5. Distribuição de formulários ao motoristas durante uma semana, para coleta de dados sobre tempo e distância de cada rota nas 3 áreas escolhidas como estudo de caso.

6. Coleta de dados de localização dos pontos de visitas e depósito, capacidade do depósito, quantidade, tipo e capacidade dos veículos. Dados referentes aos endereços dos estabelecimentos foram obtidos em veículo particular, perfazendo os itinerários dos veículos com auxílio de pessoal alocado pela própria distribuidora, totalizando 492 pontos de vendas na cidade.
7. Transferência dos dados coletados, no sistema viário digitalizado, com a criação da camada de pontos de visitas, depósito-casa do motorista-cliente. O uso da rotina de *localização por endereço*, (logradouro versus logradouro), facilitou sobremaneira esta etapa, visto que grande parte do real posicionamento dos clientes estarem situados nos cruzamentos. As tabelas foram criadas no *software Excel* em formato *dbf* e importadas para o *TransCAD*, seguindo padrões de formato sugeridos pelo tutorial deste.
8. Identificação dos endereços não localizados no processo de busca, detectando erros de digitalização ou formato, repetindo o processo até a obtenção de todos os pontos. Dados não localizados com a rotina de busca (logradouros ainda não nomeados ou não digitalizados), foram editados diretamente sobre o mapa com auxílio do *mouse*. Nestes casos foi necessário o conhecimento do real posicionamento do estabelecimento, haja vista o mapa digitalizado não possuir numeração dos lotes.
9. Criação de dois conjuntos de seleção para cada camada de pontos, alocados a cada rota; um conjunto para pontos visitados (inclusive a residência do motorista) e outro para o depósito.
10. Determinação do tamanho da amostra piloto, a ser utilizada na relação linear entre as distâncias efetivas e distâncias euclidianas (em linha reta); utilizando-se procedimentos estatísticos necessários.
11. Obtenção da equação que descreve a relação linear entre distância euclidiana e distância real (de percurso) para a cidade de São Carlos.

12. Verificação da aplicação do coeficiente de correção através da Comparação entre médias de percurso em rede e em linha reta corrigida, através da aplicação de testes de hipóteses.
13. Cálculo da matriz de roteirização com base nas distâncias euclidianas (em linha reta) para cada par origem-destino das rotas a serem analisadas. Este método não exige a preparação da rede de caminhos mínimos, nem a conexão das paradas e depósito ao nós mais próximo da rede. A opção de cálculo da matriz de roteirização com distâncias euclidianas (em linha rede), fornecida pela rotina, faz a multiplicação automática desta pelo fator de correção de 1.3, sugerido pelo fabricante. Para usar outro fator de correção é necessário proceder com ferramentas para manipulação de matrizes.
14. Multiplicação da matriz de roteirização (distâncias euclidianas), pelo coeficiente de correção estimado para a cidade de São Carlos, utilizado o comando *Matrix-Fill*, disponível no programa. Os itinerários gerados com esta matriz não serão mostrados como um sistema de rotas nos mapas.
15. Determinação dos itinerários nas três zonas de entregas a serem analisadas, usando distâncias estimadas.
16. Obtenção dos pesos das bebidas (em quilos), com auxílio de uma balança, criando uma lista de produtos com pesos por unidade comercializada (caixa, grade, meia dúzia, etc.). Para tanto, foi preciso a coleta da quantidade de bebidas possíveis de serem transportados por estabelecimento.
17. Obtenção dos pedidos de vendas do dia anterior à entrega e somatório dos pedidos por estabelecimento (quantidade x peso por unidade), para o segundo dia de entrega da semana (dia analisado), com auxílio da lista de produtos.
18. Escolha dos pontos para agrupamentos (sementes), com base nas distâncias de percurso aproximadas. A rotina permite identificar a capacidade máxima de cada grupo (limitada pela capacidade nominal do caminhão), através da comparação entre o somatório das demandas por ponto com a capacidade dada para o caminhão. Como a distribuidora de bebidas trabalha com grande variedade de

produtos, foi necessário, em primeiro lugar, a obtenção do peso de cada pedido, em quilos.

19. Cálculo da matriz de roteirização (distâncias em rede), através da rotina *vehicle routing*, minimizando distâncias em rede, considerando tempo de percursos nos arcos, entre todos os pontos origem-destino. Esta matriz expressa os custos de deslocamentos em rede para cada par de origem-destino. Pode ser obtida através do cálculo da matriz de custos existente fora da rotina analisada neste trabalho e utilizada para diferentes procedimentos de análises de percursos em rede.
20. Geração da rede de caminho mínimo e conexão da camada de pontos geográficos referentes ao sistema de entregas de bebidas (pontos de visitas) ao mapa digitalizado, através do comando *Edit-Fill TAG*.
21. Determinação de itinerários e seqüências de entregas, para a situação atual, minimizando distâncias em rede. A rotina permite a visualização das rotas nos mapa e detalhes de percursos em planilhas.
22. Escolha dos pontos para agrupamentos (sementes), com base nas distâncias de percurso em rede, identificando o valor de capacidade para cada grupo, limitado pela capacidade nominal do caminhão. Os grupos são formados satisfazendo a restrição de capacidade por grupo e buscando o menor custo de distância entre os pares origens e destinos. A tabela de produtos é usada para auxiliar na identificação do carregamento, segundo a demanda para o dia de entrega especificado.

CAPÍTULO 6

6. Estudo de caso

Este capítulo descreve a cidade onde o trabalho foi realizado e cita as peculiaridades do estudo de caso (distribuidora de bebidas). Inicialmente serão abordados critérios de definição sobre a área do estudo de caso e os dados utilizados para a sua realização. Em seguida, serão mostrados os procedimentos adotados para o estudo de caso.

6.1 Área do estudo de caso

São Carlos, cidade onde foi realizada o estudo de caso, localiza-se na região central do estado de São Paulo a 230Km de distância da capital (Figura 6.1). Tem características de uma cidade de porte médio com aproximadamente 175 mil habitantes. Apresenta um processo de urbanização bastante significativo, atingindo um índice de 92,3% em 1980, o que coloca a cidade situada entre as cidades paulistas com maior índice de urbanização (NIPE, 1997).

O cenário escolhido para o estudo de caso foi o de serviços de distribuição de bebidas, comumente encontrados nos centros urbanos. A distribuidora atende a área de 4.400 estabelecimentos entre os municípios de São Carlos e Descalvado.

As zonas de entregas de bebidas no município de São Carlos encontram-se bastante diversificadas. Tanto em termos do número de pontos de vendas, quanto características da demanda por estabelecimentos. O número de pontos por zona é definido de acordo

com estatísticas de demanda. As entregas acontecem em seis dias da semana, sendo que nos três primeiros dias acontece a primeira visita e nos três últimos dias a segunda visita. O regime de operação é a pré-venda. A visita da tripulação de vendas ocorre alternado com a da tripulação de entrega.

São visitados diariamente pela tripulação de venda uma média de 50 a 60 pontos por rota de entrega, o que corresponde a uma média de 150 a 180 pontos por zona, que dependendo da venda, tem-se uma média de 30 pontos visitados pela tripulação de entregas. Frequentemente há mudanças drásticas nas rotas dos veículos.

FIGURA 6.1 – Situação geográfica do município de São Carlos.

Fonte: VIVIANI et al., 1994.

O município de São Carlos está dividido para entrega de bebidas em 7 zonas, sendo a zona de número 6 reservada para entregas eventuais. Cada uma possui três áreas de atendimento com níveis de serviços diferentes. Áreas onde as demandas por estabelecimento são maiores, possuem menor número de pontos e, vice-versa, na

tentativa de obtenção de cobertura mínima e manutenção de um bom nível de serviço. A demanda por estabelecimento varia, de acordo com as características da área em questão e serviço prestado. Pontos em área comercial têm maior demanda do que pontos em área residencial e comércio de bebidas nos bares, restaurantes e supermercados têm maior demanda do que nos hotéis, universidades, postos de gasolina.

Os veículos usados para entrega de bebidas possuem características especiais. São equipados com carroçaria projetada especialmente para a operação, sendo de menor porte do que em outros serviços. A distribuidora, objeto de estudo neste trabalho, possui uma frota de 7 veículos sendo 4 com capacidade de 4.5t e 3 com capacidade de 7t. Todos encontram-se em bom estado de conservação, sem problemas operacionais que prejudiquem a execução dos serviços.

A periodicidade da distribuidora é de três dias. Clientes atendidos no primeiro dia da semana (segunda-feira) correspondem às entregas com nível de serviço "A". Geralmente, estes clientes localizam-se em áreas (centrais) mais densas e por conseguinte de maior consumo. Clientes atendidos no segundo dia da semana (terça-feira) correspondem às entregas com nível de serviço "B", e os atendimentos no terceiro dia da semana (quarta-feira) correspondem às entregas com nível de serviço "C". Algumas distribuidoras adotam um raio de cobertura para a divisão das zonas, atendendo primeiro um núcleo central (área mais densa, logo de maior consumo) e então atendem as outras áreas, aumentando-se este raio de cobertura.

O serviço ocorre da seguinte forma: ao receber uma ordem de um cliente, verifica-se dentre vários produtos requeridos, aqueles que não se encontram disponíveis no estoque ou estão em número reduzido. Nesta situação, a distribuidora consulta os arquivos do computador central e faz o pedido ao fornecedor. A seguir registra todas as vendas do dia, discriminando o tipo de produto, a quantidade e o peso. Pedidos são agrupados e alocados aos motoristas, numa ordenação definida pelo gerente de operações com base na própria experiência de trabalho. Os itinerários são registrados (em mapas) de forma manual, respeitando horários requeridos pelos clientes. No dia seguinte é feito o

carregamento dos veículos, que retorna ao depósito às 17:00hs. Durante o período de entrega o motorista vai almoçar na sua casa. O tempo de serviço para atendimento é preestabelecido em 10 minutos, seguindo um padrão de serviço da empresa.

6.2 Justificativa para a escolha dos setores analisados

A escolha do serviço como também a delimitação da área de entregas para estudo levou em consideração aspectos como: apoio da distribuidora de bebidas, com o fornecimento dos dados, tempo necessário para a coleta de campo e disponibilidade da base de dados implantada em um sistema computacional.

A área de estudo foi demarcada em três setores de entrega, que correspondem às áreas de número 1, 3, 7, codificadas pela empresa. Foi estudada nos três primeiros dias da semana.. A Figura 6.2 ilustra as zonas e as divisões feitas para a cidade de São Carlos e a Figura 6.3 especifica as áreas escolhidas para o estudo de caso.

FIGURA 6.2 – Divisão da cidade em zonas de entregas de bebidas

FIGURA 6.3 – Divisão das áreas escolhidas com o estudo de caso em São Carlos.

Observa-se na Figura 6.2, que a área 6 não foi representada. E isto, por que a área correspondente ao número 6, serve aos clientes esporádicos ou eventuais que venham a solicitar o serviço de entrega durante a operação diária.

Na Figura 6.3, observa-se que alguns clientes da área 2 foram inseridos no estudo de caso. E isto por que, havia interesse, por parte da distribuidora, em estudar a inserção destes clientes em outras áreas, visando reduzir o número de veículos em circulação.

6.3 Procedimentos adotados para o estudo de caso

Os serviços de entrega de bebidas têm como condicionante o peso das cargas e não o volume destas, pois a restrição de peso da carga era alcançada antes de satisfazer a restrição de volume desta. Neste sentido, a escolha dos pontos numa situação proposta

para o segundo dia de entrega, foi feita com base na capacidade de peso útil dos veículos. Num estudo prévio dos produtos comercializados pela distribuidora, observou-se que esta trabalha com uma gama enorme de produtos de diferentes formas, peso e volume, o que dificulta sobremaneira a quantificação da carga transportada pelos veículos numa base diária. Muitos possuem uma unidade de peso padrão: produtos com retorno geralmente são distribuídos em caixas com doze garrafas. A Tabela 6.2 mostra a lista de produtos padrão discriminados por tipo e identificados pelo peso.

Partindo-se do exposto anteriormente, optou-se por se trabalhar com dados dispostos numa tabela (Tabela 6.1), de produtos agrupados em formato padrão. Normalmente, os produtos são divididos em dois grupos: com retorno e sem retorno. Os produtos foram pesados, com auxílio de uma balança e listados na tabela, criando uma relação de produtos com pesos por unidade comercializada (caixa, grade, meia dúzia, etc.). A empresa operadora utiliza os veículos para transportar os vários diferentes produtos indiferentemente, ou seja, os veículos não tem restrições quanto ao tipo de carga a transportar.

TABELA 6.1 – Parâmetros operacionais relacionados aos produtos

MIX DE PRODUTOS SEM RETORNO (descartável)		
UNID.	DISCRIMINAÇÃO	PESO (Kg)
2 dz.	Água c/ gás 600ml	15
4 dz.	Água copo 200ml	10
dz.	PVC 1,5 litros	19
2 dz.	PVC ½	13
cx.	Refrigerante lata	5
cx.	Cerveja lata	5
cx.	Soda limonada lata	5
cx.	Água tônica lata	5
dz.	Refrigerante Pet 1 litro	13
cx.c/6	Refrigerante Pet 2 litros	13
cx.	Água c/ gás 1 litro	13
cx.c/3	Garrafão 5 litros	16
COM RETORNO		
cx.	Refrigerante 300ml	10
Grade	Cerveja 1/1(tradicional)	29
Dz.	Cerveja especial 350ml	8
Dz.	Guaraná 290 ml	9
Dz.	Cerveja ½	8
Cx.	Cerveja especial	15

CAPÍTULO 7

7. RESULTADOS

As informações reportadas neste capítulo foram obtidas na seqüência estabelecida pelos itens que se seguem. Primeiramente, aborda-se os resultados alcançados com a aplicação da métrica euclidiana corrigida à malha urbana de São Carlos. Em seguida, apresenta-se os resultados obtidos com as distâncias em rede, aplicando as rotinas disponíveis no software TransCAD. E por último, faz-se análises destes resultados.

7.1 Relação entre distâncias em malha urbana e distâncias euclidianas

A geração da matriz de custos (distâncias euclidianas) entre os vários pontos analisados, foi feita através da rotina *vehicle routing*, implementada no programa. No entanto esta matriz não representa bem os valores de percursos executados pela distribuidora, visto que, são geralmente menores que as distâncias percorridas (efetivas). Assim, para se obter resultado mais próximo da realidade, fez-se um ajuste nas distâncias euclidianas através de regressão linear entre estas e distâncias efetivas (ANEXO B). Por não ter conhecimento dos parâmetros da população, foi necessário determinar o tamanho de uma amostra piloto inicialmente com n' elementos, escolhidos ao acaso e, com base nela, obteve-se uma estimativa de s , empregando a equação (4) do APENDICE 1. Assim foi realizada uma regressão simples, com ajuste de reta, utilizando-se uma amostra de 410 pares de pontos (distâncias). Obtendo-se um coeficiente de ajuste de 1,31, para a cidade de São Carlos, com $R^2 = 0.89$ e distâncias em quilômetros.

NOVAES (1989) comenta que este fator, em geral, é de aproximadamente 1,30 para áreas urbanas, embora o autor tenha encontrado um fator de correção para a cidade de São Paulo de aproximadamente 1,36. Procedimentos estatísticos foram utilizados para obter-se o tamanho da amostra piloto (ANEXO A) e comparação de médias amostrais (ANEXO C). A Figura 7.1 mostra o gráfico com o resultado obtido da relação entre as duas distâncias (ANEXO B). Com este fator foi possível a geração da matriz com distâncias próximas das distâncias reais de percursos, utilizada na definição dos roteiros.

FIGURA 7.1 – Relação entre distâncias em rede e distâncias euclidianas na malha urbana de São Carlos.

7.2 Resultados obtidos junto à distribuidora

Para a avaliação dos resultados alcançados neste trabalho, foi necessária a distribuição de formulários entre os motoristas das empresas para conhecimento dos parâmetros operacionais a serem comparados com os gerados pela rotina, durante um período de operação da distribuidora. Existem dois pontos considerados a todos os roteiros: o depósito e o ponto de almoço (Tabela 7.1).

TABELA 7.1 Parâmetros operacionais obtidos junto a distribuidora**SEGUNDA FEIRA**

Motorista: Joel Área 7			Motorista: Ivan Área 3			Motorista: Jair Área 1		
Data 22/02/99			Data: 22/02/99			Data: 22/02/99		
Veículo: MB.608/ Km:		Horário	Veículo MB.608/ Km		Horário	Veículo: Volks 7000kg / Km		Horário
Dist. Lumar Saída	190563	8:20	Dist. Lumar Saída	149146	8:30	Dist. Lumar Saída	170892	8:40
Almoço Chegada	190592	12:30	Almoço Chegada	149170	12:50	Almoço Chegada	170906	11:45
Almoço Saída	_____	13:50	Almoço Saída	_____	14:30	Almoço Saída	_____	14:10
Dist. Lumar Chegada	190593	14:44	Dist. Lumar Chegada	149188	16:20	Dist. Lumar Chegada	170916	15:50
Total	30 km	5:04	Total	43 km	6:10	Total	24 km	7:10

TERÇA FEIRA

Motorista: Alemão Área 7			Motorista: Ivan Área 3			Motorista: Ari Área 1		
Data 23/02/99			Data: 23/02/99			Data: 23/02/99		
Veículo: MB. 608/ Km:		Horário	Veículo Volks7000kg/ Km		Horário	Veículo: Volks 7000kg/ Km		Horário
Dist. Lumar Saída	92003	8:10	Dist. Lumar Saída	149641	8:15	Dist. Lumar Saída	41264	8:30
Almoço Chegada	92021	11:30	Almoço Chegada	149665	13:20	Almoço Chegada	41283	12:10
Almoço Saída	_____	14:00	Almoço Saída	_____	14:55	Almoço Saída	_____	14:10
Dist. Lumar Chegada	92031	15:44	Dist. Lumar Chegada	149673	16:10	Dist. Lumar Chegada	41291	14:20
Total	28 km	5:04	Total	32 km	6:20	Total	27 km	3:50

QUARTA FEIRA

Motorista: Joel Área 7			Motorista: Ivan Área 3			Motorista: Ari Área 1		
Data 24/02/99			Data: 24/02/99			Data: 24/02/99		
Veículo: MB.608/ Km:		Horário	Veículo MB. 608/ Km		Horário	Veículo: Volks 7000kg / Km		Horário
Dist. Lumar Saída	191160	8:45	Dist. Lumar Saída	149743	8:10	Dist. Lumar Saída	41301	8:45
Almoço Chegada	191188	11:55	Almoço Chegada	149765	12:48	Almoço Chegada	41319	13:26
Almoço Saída	_____	13:55	Almoço Saída	_____	14:36	Almoço Saída	_____	15:15
Dist. Lumar Chegada	191178	14:35	Dist. Lumar Chegada	149772	14:50	Dist. Lumar Chegada	41339	15:50
Total	18 km	3:50	Total	29 km	6:40	Total	38 km	7:05

7.3 Resultados dos itinerários obtidos usando distâncias estimadas

De posse da base de dados dos clientes digitalizados no mapa de São Carlos (Figura 7.2) e do coeficiente de correção entre as distâncias, calculou-se a matriz de roteirização com base nas distâncias aproximadas entre os vários pontos analisados. Estes valores poderiam ser obtidos manualmente, retirados de uma mapa impresso da cidade ou

calculados a partir das coordenadas destes pontos. Com as matrizes calculadas, traçou-se os roteiros para as três áreas de estudos nos três dias analisados (periodicidade da distribuidora). A tabela 7.2 mostra sumariamente as distâncias obtidas para os percursos usando a matriz estimada para os três dias analisados. Resultados mais detalhados dos roteiros traçados encontram-se no ANEXO D.

FIGURA 7.2 – Pontos de entregas inseridos no mapa de São Carlos para os três dias analisados (periodicidade da distribuidora).

TABELA 7.2 –Distâncias de percursos obtidas com a matriz de valores estimados para os três dias analisados

Distâncias euclidianas corrigidas (m)			
Dia da semana	Roteiro 1	Roteiro 3	Roteiro 7
Segunda feira	20500	39410	18590
Terça feira	14670	27830	21990
Quarta feira	28450	24870	9430

Os resultados obtidos possibilitaram a comparação entre as distâncias de percursos feitos pela distribuidora e obtidos com uso da matriz de distâncias estimadas. A Tabela 7.3 mostra a diferença relativa dos resultados obtidos com este procedimento.

TABELA 7.3 - Porcentagem da diferença a mais entre os percursos reais executados pela distribuidora e os percursos euclidianos corrigidos para os três analisados.

Diferença positiva dos percursos reais sobre os Percursos euclidianos corrigidos (%)			
Dia da semana	Roteiro 1	Roteiro 3	Roteiro 7
Segunda feira	14.58	8.35	38.03
Terça feira	38.15	13.03	21.46
Quarta feira	23.26	14.24	47.61

7.4 Resultados das rotas usando a rotina com janela de tempo

De posse da rede digitalizada da cidade e dos pontos de atendimentos da distribuidora, utilizou-se a rotina *vehicle routing* com janela de tempo no intuito de obter parâmetros de comparação entre as distâncias em rede otimizada e as outras distâncias obtidas (reais e estimadas). Este procedimento permite considerar fatores que adicionam valores à distância. Um deles decorre da existência de sentido único nas vias, que exige percursos ainda maiores. Outro seria restrições de cruzamento das artérias principais, obrigando os veículos a procurar uma via que permita travessia. Ou ainda não permitir retorno como manobras em “U”. Assim antes da geração da matriz de roteirização, calculou-se a rede com base nas distâncias e tempos de percursos em todos os *links* do mapa digitalizado, considerando-se impedimentos de fluxo em alguns destes. Em seguida, criou-se a matriz de roteirização, com base neste rede, para as três áreas nos três dias de operação estudados. Logo após, gerou-se os roteiros nas três áreas ilustrados nas Figuras 7.3, 7.4, 7.5.

FIGURA 7.3 – Roteiro traçado para o primeiro dia de entregas

FIGURA 7.4 – Roteiro traçado para o segundo dia de entregas

FIGURA 7.5 – Roteiro traçado para o terceiro dia de entregas

A tabela 7.4 mostra de forma resumida os resultados dos roteiros obtidos com distâncias em rede. As tabelas mais detalhas dos roteiros encontram-se no ANEXO E. Estes resultados possibilitam análises comparativas entre os roteiros feitos pela distribuidora e os feitos pela rotina minimizando distâncias em rede.

TABELA 7.4 - Percursos mínimos em rede obtidas com aplicação da rotina roteirização de veículos

Distâncias em rede (m)			
Dia da semana	Roteiro 1	Roteiro 3	Roteiro 7
Segunda feira	21100	40320	19190
Terça feira	17380	28400	22900
Quarta feira	30360	25050	10600

Com os roteiros calculados com base na rede digitalizada e de posse dos valores obtidos junto à distribuidora foi possível a comparação de ambos os casos, obtendo os resultados resumido na tabela 7.5. Estes resultados possibilitam análises comparativas interessantes entre os roteiros feitos pela distribuidora e os feitos pela rotina minimizando distâncias em rede e roteiros traçados com distâncias estimadas.

TABELA 7.5 - Porcentagem da diferença entre os percursos reais e os percursos mínimos obtidos com aplicação da rotina roteirização de veículos

Diferença positiva dos percursos executados pela distribuidora (reais) sobre os percurso em rede (%)			
Dia da semana	Roteiro 1	Roteiro 3	Roteiro 7
Segunda feira	12.08	6.23	36.03
Terça feira	35.63	11.78	18.04
Quarta feira	20.11	13.62	41.11

TABELA 7.6 - Porcentagem da diferença entre os percursos euclidianos corrigidos e os percursos mínimos obtidos com aplicação da rotina roteirização de veículos.

Diferença positiva dos percursos em rede sobre os percursos euclidianos (%)			
Dia da semana	Roteiro 1	Roteiro 3	Roteiro 7
Segunda feira	2.75	2.26	3.13
Terça feira	3.91	1.42	4.18
Quarta feira	3.06	0.72	11.04

Como os cálculos haviam sido feitos sob as duas medidas (em rede e em distância euclidiana corrigida), também foi possível a obtenção dos resultados para ambos os casos, fazendo-se a comparação desses valores (Tabela 7.6). Os Gráficos ilustrados nas Figuras 7.6, 7.7 e 7.8 mostram esses resultados para os três dias de estudo. As tabelas mais detalhadas dos roteiros encontram-se no ANEXO F.

FIGURA 7.6 – Comparação dos percursos em rede e estimados para o primeiro dia das entregas nas três áreas analisadas.

FIGURA 7.7 – Comparação dos percursos em rede e estimados para o segundo dia das entregas nas três áreas analisadas.

FIGURA 7.8 – Comparação dos percursos em rede e estimados para o terceiro dia das entregas nas três áreas analisadas.

7.5 Resultados das rotinas agrupamento-particionamento

A rotina agrupamento foi usada para a criação de grupos formados pelos clientes da distribuidora com base na proximidade destes. O agrupamento de clientes por motorista teve como limitante a capacidade máxima de carregamento dos caminhões disponíveis (4.500 e 7000kg) e não o número de clientes para a formação dos grupos. Assim, calculou-se a matriz de custos (distâncias euclidianas) e identificou-se a quantidade de clientes e capacidade de cada grupo, de forma a reduzir os custos de viagem (Tabela 7.7). Também foi realizado o mesmo procedimento usando a matriz de custos (distâncias) em rede (Tabela 7.8). O resultado foi a definição dos pontos “sementes” para a divisão das zonas servidas por cada motorista. Estes procedimento foi feito para os três roteiros no segundo dia de entregas. As Figuras 7.9, 7.10 e 7.11 ilustram os resultados alcançados, respectivamente nos percursos reais, com a matriz de custos (distâncias) euclidianas e em rede. Resultados mais detalhados encontram-se nos ANEXOS G e H, respectivamente.

TABELA 7.7 - Resultado do agrupamento feito com base nas distâncias em linha reta (euclidianas)

Agrupamento	Semente (ID no nó)	Custo de percurso	N.º de elementos	Capacidade do grupo (Kg)
1	1	24.60	26	3855
2	29	11.30	16	2280
3	36	27.60	29	6253
Total		63..50	71	12388

TABELA 7.8 Resultado do agrupamento feito com base nas distâncias em rede

Agrupamento	Semente (ID no nó)	Custo de percurso	N.º de elementos	Capacidade do grupo (Kg)
1	12	19.10	19	3483
2	29	14.61	16	1956
3	61	54.21	36	6949
Total		87.92	71	12388

De posse dos pontos agrupados por motorista (Figura 7.9), definiu-se os roteiros e sequência de atendimentos para o segundo dia de entregas na semana analisada. A Figura 7.12 ilustra o mapa com o traçado das rotas obtidas. O mesmo não foi possível com o agrupamento obtido com base na matriz de distâncias euclidianas, haja vista que o traçado das rotas pelo programa exige que as mesmas sejam definidas baseadas nas distâncias em rede.

FIGURA 7.9 – Distribuição espacial dos pontos das entregas no segundo dia feito pela empresa

FIGURA 7.10 – Agrupamento dos clientes baseado nas distâncias euclidianas corrigidas para o segundo dia da semana analisada

FIGURA 7.11 – Agrupamento dos clientes baseado das distâncias em rede para o segundo dia de entregas

FIGURA 7.12 – Propostas dos itinerários para o segundo dia de entregas nas três zonas analisadas.

7.6 Análises dos Resultados

Os resultados apresentados neste trabalho correspondem aos obtidos para os três roteiros (1, 3, 7) definidos pela distribuidora nos três primeiros dias da semana (periodicidade da empresa). Houve uma substancial redução de quilometragem, nos roteiros executados pela rotina com base nas distâncias em rede, quando comparada com a quilometragem realizada pela empresa. Na área 1, esta diminuição variou entre 12.08% e 20.11%. Já para a área 3, esta redução ficou entre 6.23% e 13.62% no mesmo período. Para a área 7, a redução também foi bastante significativa, apresentando um valor mínimo de 36.03% e máximo de 41.11%. Este último resultado deveu-se, além de outros fatores, ao alto índice de restrições de circulação impostas ao caminhão, encontradas na área 7, que corresponde à área de maior densidade (centro da cidade).

Também se observou uma redução nos itinerários obtidos, utilizando valores estimados (distâncias euclidianas corrigidas), no cálculo das distâncias desses percursos. Na área 1, obteve-se roteiros feitos pelo *software*, com redução de quilometragem, variando entre 14.58% e 38.15%, quando comparada a quilometragem executada pela empresa, enquanto que, nos roteiros para a área 3, esta redução ficou entre 8.35% e 14.24%. No caso da área 7, observou-se redução bem mais expressiva, variando entre 38.03% e 47.61%.

No geral, os resultados obtidos com distâncias corrigidas mostraram-se bastante próximos dos obtidos com distâncias em rede, como se pode constatar na Tabela 7.6 (página 124) – o que não deixa transparecer dúvidas de que o programa é flexível no sentido de possibilitar o uso tanto distâncias em rede, como distâncias euclidianas corrigidas para gerar a matriz de distâncias entre todos os pontos, obtendo-se soluções otimizadas de itinerários para veículos de entregas.

No entanto, o resultado obtido para a área 7, no terceiro dia de operação, não comportou-se como esperado. Observou-se que o percurso em rede foi bem maior do que o percurso obtido utilizando-se distâncias euclidianas corrigidas, 11.04%. Este valor

expressa que as distâncias percorridas em rede com impedimentos foi bem maior que as distâncias euclidianas multiplicadas pelo fator de correção. E isto deveu-se, provavelmente, ao fato da área 7 representar uma área de grande circulação urbana, e, por conseguinte, apresentar restrições ao movimento do caminhão, fazendo com que o veículo seja obrigado a percorrer mais de uma vez o mesmo *link* da rede.

No caso da aplicação das rotinas agrupamento/particionamento, estas consideram custos de percursos, tendo como parâmetros de análises a localização da instalação (depósito) e a distribuição espacial dos clientes na malha urbana em estudo. Assim, para obter valores de percursos mínimos, foi necessário aplicar, nos grupos definidos por estas rotinas, a rotina específica para roteirização de veículos. O resultado obtido com os itinerários foi um melhor aproveitamento dos veículos, se comparado ao aproveitamento feito pela empresa, apesar de nos dois casos, terem utilizado o mesmo número de veículos. No roteiro definido para a área 3, a empresa empregava o veículo de 7000kg, enquanto a rotina cumpriu a mesma tarefa utilizando-se de um veículo de 4500kg, através de uma realocação, feita no segundo dia, dos clientes atendidos pelo roteiro.

Quanto à aplicação da rotina de agrupamento dos pontos a serem atendidos pelos motoristas, também houve mudanças expressivas. Todos os motoristas foram alocados a áreas diferentes das descritas pela empresa. Por exemplo, o que atendia a área 3 foi alocado para atender a área que, anteriormente correspondia à área 1, enquanto o motorista da área 1 foi alocado para atender a área que anteriormente correspondia à área 3. Houve também mudança na distribuição dos clientes destinados a cada rota. Por outro lado, parte dos clientes pertencentes à rota 7 foram agrupados à rota 1 e parte dos clientes pertencentes à rota 3 foram centrados à rota 7.

Apesar de os parâmetros colhidos não serem suficientes para análises mais detalhadas do aproveitamento da frota disponível, dados pela distribuidora, pode-se observar que ela opera com baixo índice de aproveitamento da frota. O agrupamento 61, definido com base nas distâncias em rede, ficou com a capacidade de 6949kg, próxima à do caminhão, o que resultou em menor quilometragem total gasta pelos caminhões nos três percursos (ver Tabela 7.7), se comparada ao carregamento dado pela empresa.

Também foi observado que a empresa tem deslocado motoristas de suas áreas de domicílio para a realização de percursos noutras áreas. Com a aplicação da rotina agrupamento houve um total deslocamento dos motoristas de suas áreas de atuação, de forma a obedecer a restrição de mínimo percurso. O resultado foi menor quilometragem total e maior tempo do veículo disponível na garagem. O que permitiu a utilização deste em outras tarefas. As Figuras 7.9, 7.10 e 7.11, mostradas anteriormente, ilustram esta afirmação.

Esses resultados, apesar das simplificações feitas, permitiram destacar o potencial do uso de *software* SIG-T na análise espacial dos dados, auxiliando não somente na redução de percursos, como também na divisão das áreas de entregas e na definição das rotas, possibilitando a visualização dos clientes e dos itinerários nos mapas, contribuindo, assim, para a melhoria dos serviços aos clientes.

CAPÍTULO 8

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo examina a viabilidade do uso de sistema computacional na definição de rotas e seqüência de entregas de bebidas, baseada em distâncias calculadas em rede e em linha reta corrigida, revelando críticas, sobretudo na indústria de bebidas, quanto à forma de tratamento dada ao problema quando do emprego de software disponível comercialmente.

8.1 Considerações gerais

A realização desta pesquisa foi motivada basicamente pela necessidade do uso de sistema computacional na roteirização de veículos para distribuição pulverizada de mercadorias, com a qual se defrontam muitas empresas, na perspectiva de obter respostas rápidas e eficientes.

Um dos mais difíceis e complexos problemas enfrentado pelo planejador da distribuição física é a definição rápida e eficiente do comprimento e seqüência de rotas e tamanho da frota para realizar o serviço. Em geral, as decisões dos itinerários são baseados na experiência dos operadores, o que muitas vezes acarreta imprecisão nos resultados. O uso de pacotes computacionais pode auxiliar no planejamento de rotas para veículos de entregas, a medida que permite construir, aumentar ou diminuir rotas de maneira rápida.

No entanto, a aquisição e instalação de um *software* na roteirização de veículos, geralmente, requer um modelo preciso de tempo de percurso (mapa digitalizado),

aceitação do usuário e customização do *software* para ligar o problema de rotas com arquivos de dados específicos e, possivelmente, a contratação de novas pessoas.

Este trabalho analisou, através de um estudo de caso, a viabilidade e a conveniência de se utilizar um sistema computacional no planejamento de rotas para entregas de bebidas em uma cidade de porte médio. O objetivo desta análise foi desenvolver uma metodologia que agilizasse a utilização de *software* sem grandes investimentos de tempo e de recursos. Os SIGs foram objeto de estudo na operação de entregas urbanas como forma de corroborar com o propósito deste trabalho. A roteirização de veículos para entregas de mercadorias foi realizada, visando a minimização de quilômetros percorridos pela frota, sujeita às restrições de capacidade dos veículos e de tempo máximo dispensado na operação.

Espera-se que as análises desenvolvidas neste trabalho, apresentem a realidade dos aspectos relativos aos serviços de entregas e outros que tenham características semelhantes, sendo um referencial para futuras pesquisas.

8.2 Conclusões sobre os resultados obtidos

Os resultados obtidos possibilitaram apresentar uma nova proposta, para a roteirização de veículos de serviços de entregas, adequando a tecnologia disponível à necessidade de implementação nesse setor, buscando a sua eficiência e qualidade. As conclusões foram feitas em função de dois aspectos: o primeiro relativo às análises do sistema de entregas existente e o segundo relativo à aplicação do *software* TransCAD.

Como resultado mais expressivo, observou-se uma redução média de 24%, em termos de quilometragem, nos roteiros executados com o emprego de distâncias estimadas, se comparado aos executados pela empresa. Nos roteiros executados pela rotina, com o uso de distâncias em rede (efetiva), obteve-se uma economia de 22%, em termos de quilometragem.

Assim pode-se concluir que é viável utilizar com êxito, distâncias euclidianas multiplicadas por um fator de correção, num sistema *roteirizador*, não

necessariamente na plataforma SIG. Essas podem ser extraídas de um mapa impresso que, multiplicada por um fator de correção, permitem a geração rápida da matriz de distâncias aproximadas. O fator de correção obtido para a malha urbana da cidade de São Carlos foi de 1,31, o mesmo sugerido por NOVAES (1989) para a maioria das grandes cidades.

No entanto, o uso simplificado do *software* não permitiu a visualização das rotas definidas por distâncias estimadas, tampouco a obtenção de relatórios detalhados desses roteiros.

8.3 Conclusões sobre o uso do SIG

Sistemas computacionais podem auxiliar na definição de rotas eficientes de maneira mais rápida, e se possível, mais econômica, uma vez que rotas eficientemente definidas podem proporcionar vantagens econômicas, pelo aumento de produtividade e controle mais eficiente da operação de sistemas de transporte.

Quando se pretende adquirir e operar um SIG é importante considerar as dificuldades encontradas na sua utilização e estabelecer procedimentos necessários afim de solucionar problemas eventuais advindos das aplicações destes.

Um benefício de se usar um *software* é a menor necessidade de mão-de-obra para execução das rotas e redução de horas de trabalho para treinamento de pessoal. Na maioria das vezes, as rotas produzidas por esses pacotes são melhores do que aquelas construídas manualmente. Em alguns pacotes, o usuário pode intervir e incorporar experiência e julgamento sobre o problema, auxiliando o programa na descoberta de um conjunto de rotas factíveis

A maior vantagem de se usar o SIG é pela sua apresentação gráfica, que permite uma melhor compreensão visual de várias relações espaciais entres muitos conjuntos de dados. Mapas podem ser utilizados para mostrar regiões de entrega antes e depois de alterações propostas e detectar áreas bem servidas ou não. Analisando-se um mapa de rotas, pode-se facilmente confirmar se elas são razoáveis (factíveis), identificar

anomalias de natureza operacional ou detecção de erros nos dados de entrada. Erros na entrada de dados são mais visíveis nos mapas do que em tabelas.

A utilização do SIG-T, denominado TransCAD, nos serviços de entregas, permitiu obter uma redução média de 22% nos percursos de três roteiros analisados durante uma semana. Como resultado global, estima-se que a empresa poderia ter uma economia bem mais expressiva se os resultados fossem extrapolados para todos os roteiros feitos pela empresa.

Além disso, o programa mostrou-se flexível no sentido de se poder trabalhar tanto com distâncias em rede (precisas) quanto com distâncias euclidianas aproximadas, de forma satisfatória para obtenção de soluções eficientes. Neste último caso, prescindindo da digitalização completa do mapa-base para a definição das rotas.

Os resultados obtidos indicam que é conveniente a utilização de distâncias aproximadas num sistema de roteirização, em cidades de porte médio, sem grandes investimentos, desde que haja mão-de-obra qualificada e um treinamento prévio dos técnicos que irão operá-lo. Para tanto, deve-se também ter disponível uma estrutura mínima que possibilite o desenvolvimento do projeto e seja capaz de produzir resultados que demonstrem os benefícios gerados pelo *software*.

No entanto, as grandes dificuldades encontradas no uso do SIG foi o tempo dispensado para armazenamento, processamento e atualização dos dados relativos ao mapa digitalizado. Do exposto, conclui-se que o SIG, no caso o TransCAD, apresenta-se como instrumento capaz e importante para subsidiar um sistema de roteirização de veículos, uma vez que os problemas detectados foram principalmente na operação e não nos resultados obtidos pelo sistema.

A experiência de desenvolvimento para implantação de um sistema de roteirização nos serviços de entregas com base em SIG relatada ao longo deste trabalho, interessa àquelas empresas que estejam iniciando o processo de escolha, aquisição e uso de um *software* para este fim. As empresas podem adquirir uma estrutura operacional de SIG de diversas maneiras. Essas variam desde a contratação de todos os serviços e a não-aquisição de qualquer *hardware* e *software* para SIG, até à compra de um

sistema completo, ou mesmo o desenvolvimento na própria organização de todo um conjunto de componentes de *hardware* e *software*.

Há uma gama enorme de programas destinados à roteirização e sequência de entregas, implementado com um modelo que resolve casos particulares com características peculiares. Para se conseguir êxito na implantação de um sistema computacional, algumas etapas devem ser consideradas. Cada organização deve definir que tipos de uso e benefícios podem ser exequíveis e prioritários, atendendo às condições locais e, a partir de então, estabelecer metas específicas para a empresa.

A título de ilustração, o custo em termos de aquisição do *software* fica em torno de R\$ 21.000,00 (vinte e um mil reais), mais custos de treinamento e compra dos equipamentos necessários ao perfeito desempenho das funções de digitalização e processamento de dados e apresentação das informações, além do custo para a montagem das bases de dados, que é a etapa mais demorada. Assim, antes da aquisição de um *software*, é preciso um planejamento prévio, para avaliar suas necessidades e dizer exatamente que tipo de equipamentos serão necessários para a aplicação do *software*.

Espera-se ainda que a implantação de sistemas de informações nos serviços de entregas possa contribuir para a melhoria da prestação dos serviços, melhorando assim a imagem da empresa de distribuição perante a sociedade.

8.4 Sugestões para trabalhos futuros

Como o processo de geração de rotas analisado neste trabalho foi basicamente minimizar distância total de percurso, a variável tempo médio de viagem de distribuição de bebidas não foi analisada detalhadamente. Esta variável também poderia ser utilizada como uma restrição no processo de roteirização de veículos. Com isto poder-se-ia gerar menores custos e melhorar o nível de serviço aos clientes. Para tanto, seria necessário implementar o algoritmo que garantisse também essa outra restrição.

Neste trabalho também foram obtidos resultados satisfatórios com a aplicação da rotinas de agrupamento/particionamento disponíveis no *software*. Estas rotinas possibilitam a divisão da região de entregas em zonas, alocando os clientes às rotas, minimizando percurso e obedecendo à restrição de capacidade do veículo. Assim foram feitos dois agrupamentos: primeiro, minimizando distância euclidiana e segundo, minimizando distância em rede. Nos dois casos obtiveram-se resultados bem diferentes dos fornecidos pela empresa. Além disso, houve uma total mudança na alocação dos motoristas às rotas se comparado ao da empresa. A roteirização sobre os grupos formados pela rotina foi melhor do que os grupos formados pela empresa. O resultado final foi menores custos de transportes.

Outra alternativa seria a criação de grupos com a aplicação das rotinas agrupamento/particionamento, para fazer a cobertura de toda a área de entregas, dividindo-a de acordo com a demanda. Assim poder-se-ia dimensionar a frota de veículos e ainda melhorar o nível de serviço.

Uma segunda alternativa para a divisão das zonas de atendimentos seria a realização de uma avaliação com múltiplos critérios, atribuindo-se pesos diferentes para cada variável a saber, demanda, proximidade, compacidade da área, distância média de percurso, etc. para que todas as variáveis interferisse na escolha das áreas e assim obter maiores benefícios no processo de delimitação das áreas.

ANEXOS

ANEXO A – Cálculo para o tamanho das amostras.

ANEXO B – Obtenção da relação linear entre distâncias em rede e euclidiana.

ANEXO C – Comparação de médias amostrais - distâncias em rede e estimadas.

ANEXO D – Relatório de itinerários de entregas - distâncias estimadas (nos três dias de entregas analisados, para as três áreas estudadas.)

ANEXO E – Relatório de itinerários de entregas - distâncias em rede (nos três dias de entregas analisados, para as três áreas estudadas.)

ANEXO F – Distribuição de frequências – distâncias em rede e estimadas.

ANEXO G – Tabelas com os pontos de entregas e relatório de itinerários da proposta de entregas – distância estimadas.

ANEXO H – Tabelas com os pontos de entregas e relatório de itinerários da proposta de entregas – distância em rede.

ANEXO A - CÁLCULO PARA O TAMANHO DAS AMOSTRAS

Distâncias em Rede e Distâncias em linha reta

Sejam duas amostras piloto: a primeira referente à distâncias em rede e, a segunda, referente à distâncias em linha reta, de tamanho n (pares de pontos sorteados de uma dada população (todos os possíveis caminhos a serem percorridos na malha urbana da cidade de São Carlos)). O tamanho da amostra n_0 , será considerado significativo, se a condição $n \leq n_0$ for satisfeita, com 95% de confiança, $z = 1.96$. Caso contrário, mais elementos serão sorteados e adicionados à amostra. Para amostras grandes ($n > 30$), utiliza-se distribuição normal padrão ao invés de t de Student.

Amostra 1 – Distâncias em Rede

n (amostra piloto)	Média ($\bar{x}_1$)	Desvio Padrão (S_1)	Erro Padrão (σ_{x1})	n_0 (tamanho amostra)
300	5.17	2.44	0.1318	341.85
<u>355</u>	5.15	2.46	0.1313	<u>349.72</u>
<u>400</u>	5.13	2.48	0.1309	<u>357.99</u>
<u>405</u>	5.14	2.47	0.1310	<u>355.11</u>
<u>410</u>	5.17	2.48	0.1318	<u>352.80</u>

Amostra 2 – Distâncias em Linha Reta (Euclidiana)

n (amostra piloto)	Média ($\bar{x}_2$)	Desvio Padrão (S_1)	Erro Padrão (σ_{x2})	n_0 (tamanho amostra)
300	3.84	1.94	0.0980	391.86
355	3.83	1.93	0.0978	390.18
<u>400</u>	3.83	1.95	0.0977	<u>399.74</u>
<u>405</u>	3.84	1.95	0.0979	<u>396.06</u>
<u>410</u>	3.85	1.95	0.0983	<u>392.59</u>

FÓRMULAS UTILIZADAS: APÊNDICE I

$N1 = N2 = 410$	Média amostral	Desvio Padrão	Variância amostral
<i>Amostra 2</i>	3.8528	1.9474	3.7923
<i>Amostra 1</i>	5.1675	2.4760	6.1308

OBS: Valores sem perdas

***PONTOS ESCOLHIDOS PARA
O CÁLCULO DA RELAÇÃO
LINEAR DE SÃO CARLOS***

ORIGEM	DESTINO	<i>Amostra 1</i>		<i>Amostra 2</i>		
		Dist. Eucl.	$(x_i - x_{eucl})^2$	Dist. Rede	$(x_i - x_{rede})^2$	
	1	2	7.22	28.00	8.49	34.85
	3	4	4.05	4.50	5.38	7.80
	5	6	5.07	9.87	6.23	13.27
	7	8	5.03	9.62	5.95	11.31
	9	10	1.98	0.00	3.00	0.17
	11	12	1.75	0.03	2.27	0.10
	13	14	8.28	40.34	9.94	54.07
	15	16	6.92	24.91	8.32	32.87
	17	18	2.65	0.52	3.6	1.03
	19	20	1.84	0.01	2.61	0.00
	21	22	2.72	0.63	3.37	0.61
	23	24	0.37	2.43	0.47	4.48
	25	26	3.84	3.65	6.58	15.94
	27	28	3.87	3.77	4.8	4.90
	29	30	3.50	2.47	4.49	3.62
	31	32	0.74	1.41	1.00	2.52
	33	34	3.45	2.31	4.34	3.07
	35	36	4.90	8.83	7.61	25.23
	37	38	4.23	5.30	5.18	6.72
	39	40	0.18	3.06	0.24	5.51
	41	42	1.41	0.27	2.80	0.05
	43	44	4.01	4.33	6.19	12.98
	45	46	2.93	1.00	5.82	10.45
	47	48	5.71	14.30	6.80	17.75
	49	50	3.94	4.05	5.69	9.63
	51	52	1.78	0.02	3.05	0.21
	53	54	1.30	0.40	1.67	0.84
	55	56	6.24	18.59	8.51	35.08
	57	58	2.43	0.25	3.74	1.33
	59	60	1.03	0.81	1.70	0.79
	61	62	4.79	8.19	5.61	9.14
	63	64	6.12	17.57	8.16	31.06
	65	66	3.98	4.21	5.23	6.99
	67	68	4.53	6.77	6.91	18.69
	69	70	3.99	4.25	5.18	6.72
	71	72	0.72	1.46	0.90	2.85
	73	74	2.21	0.08	2.99	0.16
	75	76	2.57	0.41	3.93	1.80
	77	78	0.89	1.08	1.07	2.30
	79	80	3.09	1.35	3.49	0.82
	81	82	5.96	16.25	7.11	20.46
	83	84	6.42	20.17	9.26	44.53
	85	86	3.55	2.63	6.50	15.31
	87	88	5.55	13.11	7.25	21.74
	89	90	7.79	34.35	8.98	40.87
	91	92	3.00	1.15	4.63	4.17
	93	94	3.70	3.14	4.31	2.97
	95	96	4.75	7.96	9.02	41.38
	97	98	4.70	7.68	5.88	10.84
	99	100	5.29	11.30	6.40	14.54
101	102	3.17	1.54	5.29	7.31	
103	104	4.15	4.93	5.25	7.09	
105	106	2.61	0.46	3.11	0.27	

ORIGEM	DESTINO	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>		
		Dist. Eucl.	$(x_i - x_{\text{eucl}})^2$	Dist. Rede	$(x_i - x_{\text{rede}})^2$
107	108	3.53	2.56	6.22	13.20
109	110	3.87	3.77	4.47	3.55
111	112	2.55	0.39	2.98	0.15
113	114	5.35	11.71	8.76	38.11
115	116	5.03	9.62	7.30	22.21
117	118	3.06	1.28	4.16	2.47
119	120	4.36	5.91	6.19	12.98
121	122	5.71	14.30	8.56	35.68
123	124	2.49	0.32	3.38	0.63
125	126	4.18	5.07	5.63	9.26
127	128	4.29	5.58	6.79	17.67
129	130	6.53	21.17	8.32	32.87
131	132	4.46	6.41	5.81	10.39
133	134	1.43	0.25	1.70	0.79
135	136	7.42	30.15	8.51	35.08
137	138	7.87	35.30	11.04	71.46
139	140	3.43	2.25	4.39	3.25
141	142	5.11	10.12	8.67	37.00
143	144	2.24	0.10	5.21	6.88
145	146	4.36	5.91	5.16	6.62
147	148	5.51	12.83	6.97	19.21
149	150	5.2	10.70	6.30	13.79
151	152	3.98	4.21	4.51	3.70
153	154	3.91	3.93	5.51	8.54
155	156	2.09	0.03	2.30	0.08
157	158	5.28	11.23	6.90	18.60
159	160	7.2	27.79	9.68	50.31
161	162	1.96	0.10	2.99	0.16
163	164	3.18	1.57	5.07	6.17
165	166	5.94	16.09	7.51	24.24
167	168	5.09	9.99	7.21	21.37
169	170	4.47	6.46	7.05	19.92
171	172	4.57	6.98	5.31	7.42
173	174	3.46	2.34	6.37	14.31
175	176	1.64	0.08	2.5	0.01
177	178	2.77	0.71	5.09	6.27
179	180	3.86	3.73	5.02	5.92
181	182	6.86	24.32	8.58	35.92
183	184	1.45	0.23	5.01	5.87
185	186	2.00	0.01	2.38	0.04
187	188	6.85	24.22	8.86	39.35
189	190	2.75	0.67	3.28	0.48
191	192	3.85	3.69	5.73	9.88
193	194	3.35	2.02	5.1	6.32
195	196	5.63	13.70	7.45	23.65
197	198	2.14	0.04	2.85	0.07
199	200	2.78	0.72	3.35	0.58
201	202	4.67	7.51	5.63	9.26
203	204	1.49	0.19	2.06	0.28
205	206	3.37	2.08	4.81	4.94
207	208	2.13	0.04	5.18	6.72
209	210	9.21	53.02	11.02	71.12

ORIGEM	DESTINO	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>		
		Dist. Eucl.	$(x_i - x_{eucl.})^2$	Dist. Rede	$(x_i - x_{rede})^2$
211	212	4.01	4.33	5.20	6.83
213	214	1.35	0.33	1.93	0.43
215	216	4.63	7.30	8.09	30.28
217	218	5.73	14.45	6.86	18.26
219	220	2.83	0.81	3.65	1.13
221	222	2.56	0.40	3.42	0.69
223	224	3.38	2.11	3.95	1.86
225	226	0.77	1.34	1.07	2.30
227	228	3.86	3.73	4.61	4.09
229	230	4.81	8.30	6.27	13.57
231	232	4.94	9.07	5.84	10.58
233	234	4.07	4.59	5.07	6.17
235	236	2.95	1.04	3.99	1.97
237	238	3.26	1.77	3.98	1.94
239	240	4.52	6.71	5.73	9.88
241	242	4.05	4.50	7.06	20.01
243	244	5.00	9.43	5.76	10.07
245	246	4.30	5.62	5.44	8.14
247	248	1.60	0.11	1.8	0.62
249	250	4.34	5.81	5.32	7.47
251	252	4.72	7.79	5.56	8.84
253	254	1.74	0.04	2.18	0.17
255	256	1.50	0.18	2.68	0.01
257	258	1.85	0.01	2.45	0.02
259	260	2.80	0.76	4.1	2.29
261	262	3.97	4.17	5.21	6.88
263	264	4.98	9.31	6.88	18.43
265	266	4.09	4.67	6.74	17.25
267	268	5.62	13.63	7.90	28.23
269	270	6.01	16.66	8.64	36.64
271	272	3.25	1.75	5.05	6.07
273	274	4.66	7.46	6.46	15.00
275	276	2.05	0.01	2.95	0.13
277	278	2.82	0.79	3.29	0.49
279	280	5.27	11.16	7.55	24.63
281	282	1.63	0.09	2.6	0.00
283	284	6.21	18.33	8.56	35.68
285	286	4.30	5.62	5.3	7.36
287	288	4.37	5.96	5.37	7.75
289	290	4.25	5.39	5.59	9.02
291	292	5.08	9.93	6.46	15.00
293	294	2.46	0.28	3.17	0.34
295	296	6.59	21.73	8.25	32.07
297	298	4.17	5.02	5.15	6.57
299	300	5.19	10.64	6.09	12.27
301	302	3.10	1.37	3.86	1.62
303	304	6.88	24.52	9.49	47.65
305	306	3.78	3.43	4.73	4.59
307	308	0.61	1.74	0.70	3.56
309	310	8.24	39.83	8.86	39.35
311	312	4.90	8.83	7.02	19.65
313	314	0.98	0.90	1.15	2.06
315	316	3.74	3.28	5.95	11.31

ORIGEM	<i>Amostra 1</i>		<i>Amostra 2</i>		Dist. Rede	$(x_i - x_{rede})^2$
	DESTINO	Dist. Eucl.	$(x_i - x_{eocl})^2$			
	317	318	7.23	28.10	9.43	46.83
	319	320	2.14	0.04	3.04	0.21
	321	322	8.36	41.36	9.76	51.45
	323	324	5.29	11.30	6.37	14.31
	325	326	4.63	7.30	5.42	8.03
	327	328	3.00	1.15	3.77	1.40
	329	330	1.06	0.75	1.48	1.23
	331	332	5.72	14.37	6.92	18.78
	333	334	3.64	2.93	7.33	22.50
	335	336	6.44	20.35	7.71	26.25
	337	338	0.80	1.27	1.11	2.18
	339	340	5.89	15.69	7.11	20.46
	341	342	1.44	0.24	1.89	0.49
	343	344	1.61	0.10	2.24	0.12
	345	346	4.14	4.89	4.96	5.63
	347	348	2.88	0.90	3.50	0.83
	349	350	4.99	9.37	6.21	13.13
	351	352	2.17	0.06	3.21	0.39
	353	354	2.29	0.13	3.20	0.38
	355	356	1.89	0.00	2.25	0.11
	357	358	2.94	1.02	4.45	3.47
	359	360	4.11	4.76	5.79	10.26
	361	362	3.92	3.97	5.21	6.88
	363	364	2.39	0.21	3.24	0.43
	365	366	4.40	6.11	6.39	14.46
	367	368	5.00	9.43	6.92	18.78
	369	370	5.11	10.12	6.16	12.77
	371	372	2.24	0.10	3.37	0.61
	373	374	5.73	14.45	9.23	44.13
	375	376	5.43	12.26	7.80	27.18
	377	378	1.33	0.36	1.55	1.08
	379	380	1.20	0.53	1.83	0.57
	381	382	4.81	8.30	7.17	21.00
	383	384	5.47	12.54	6.82	17.92
	385	386	5.12	10.18	5.82	10.45
	387	388	2.84	0.83	5.49	8.43
	389	390	6.84	24.12	7.84	27.60
	391	392	1.99	0.00	3.25	0.44
	393	394	2.72	0.63	3.45	0.74
	395	396	3.55	2.63	4.18	2.54
	397	398	5.15	10.38	7.21	21.37
	399	400	1.82	0.01	5.44	8.14
	401	402	4.60	7.14	5.26	7.15
	403	404	8.38	41.62	9.67	50.17
	405	406	2.98	1.11	4.06	2.17
	407	408	3.42	2.22	4.17	2.51
	409	410	8.88	48.32	10.00	54.95
	411	412	1.31	0.38	1.98	0.37
	413	414	0.12	3.27	0.19	5.75
	415	416	5.58	13.33	7.23	21.56
	417	418	1.83	0.01	4.57	3.93
	419	420	3.62	2.86	5.21	6.88
	421	422	9.07	51.00	10.72	66.15
	423	424	3.03	1.21	5.27	7.20

ORIGEM	DESTINO	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>		
		Dist. Eucl.	$(x_i - \bar{x}_{eucl.})^2$	Dist. Rede	$(x_i - \bar{x}_{rede})^2$
425	426	8.05	37.47	10.33	59.96
427	428	1.67	0.07	2.09	0.25
429	430	0.56	1.87	0.8	3.19
431	432	1.3	0.40	1.67	0.84
433	434	1.00	0.86	1.95	0.41
435	436	4.48	6.51	5.12	6.42
437	438	2.14	0.04	3.40	0.66
439	440	7.14	27.16	10.34	60.11
441	442	4.57	6.98	6.30	13.79
443	444	0.53	1.96	0.73	3.45
445	446	8.07	37.72	9.38	46.15
447	448	5.69	14.15	6.58	15.94
449	450	3.03	1.21	4.40	3.29
451	452	2.94	1.02	3.87	1.65
453	454	4.87	8.65	5.90	10.98
455	456	2.62	0.48	3.44	0.73
457	458	5.13	10.25	6.48	15.16
459	460	4.53	6.77	5.97	11.45
461	462	3.91	3.93	5.72	9.82
463	464	9.03	50.43	10.29	59.34
465	466	3.47	2.38	4.54	3.81
467	468	6.01	16.66	8.75	37.98
469	470	5.56	13.19	7.09	20.28
471	472	1.00	0.86	1.04	2.39
473	474	5.62	13.63	8.84	39.10
475	476	2.46	0.28	3.11	0.27
477	478	4.25	5.39	5.13	6.47
479	480	3.72	3.21	4.57	3.93
481	482	4.76	8.02	6.41	14.62
483	484	3.93	4.01	4.70	4.47
485	486	3.93	4.01	4.80	4.90
487	488	2.71	0.61	3.40	0.66
489	490	2.03	0.01	2.29	0.09
491	492	0.55	1.90	0.81	3.16
493	494	4.10	4.71	6.06	12.06
495	496	0.23	2.89	0.43	4.65
497	498	2.92	0.98	5.51	8.54
499	500	1.16	0.59	1.27	1.73
501	502	4.13	4.85	5.6	9.08
503	504	0.93	1.00	1.22	1.87
505	506	5.15	10.38	6.36	14.24
507	508	6.87	24.42	9.53	48.21
509	510	4.12	4.80	5.15	6.57
511	512	2.95	1.04	3.91	1.75
513	514	3.02	1.19	3.68	1.19
515	516	5.50	12.75	6.37	14.31
517	518	3.73	3.24	4.98	5.73
519	520	2.59	0.44	3.25	0.44
521	522	2.59	0.44	2.94	0.12
523	524	1.58	0.12	2.38	0.04
525	526	4.34	5.81	6.09	12.27
527	528	0.99	0.88	1.17	2.01

ORIGEM	DESTINO	Dist. Eucl.	$(x_i - x_{eucl.})^2$	Dist. Rede	$(x_i - x_{rede})^2$
529	530	2.89	0.92	3.59	1.01
531	532	2.84	0.83	3.96	1.89
533	534	2.02	0.01	3.36	0.60
535	536	2.91	0.96	3.75	1.35
537	538	6.4	19.99	7.06	20.01
539	540	0.19	3.02	0.19	5.75
541	542	6.27	18.85	9.01	41.26
543	544	2.75	0.67	7.15	20.82
545	546	4.16	4.98	7.17	21.00
547	548	4.88	8.71	7.36	22.78
549	550	4.86	8.59	5.82	10.45
551	552	6.14	17.73	8.28	32.41
553	554	2.28	0.12	4.54	3.81
555	556	0.57	1.85	0.82	3.12
557	558	3.6	2.79	4.91	5.40
559	560	3.95	4.09	5.04	6.02
561	562	1.11	0.67	1.45	1.29
563	564	4.08	4.63	5.02	5.92
565	566	6.43	20.26	7.95	28.76
567	568	0.67	1.58	0.81	3.16
569	570	5.77	14.76	5.92	11.11
571	572	2.64	0.51	3.91	1.75
573	574	0.75	1.39	1.21	1.90
575	576	4.95	9.13	6.39	14.46
577	578	2.02	0.01	2.56	0.00
579	580	1.97	0.00	2.2	0.15
581	582	2.27	0.12	3.2	0.38
583	584	5.15	10.38	6.61	16.19
585	586	3.47	2.38	4.61	4.09
587	588	4.15	4.93	6.11	12.41
589	590	3.66	3.00	4.57	3.93
591	592	5.93	16.01	6.85	18.17
593	594	5.72	14.37	8.95	40.49
595	596	8.97	49.58	9.97	54.51
597	598	2.62	0.48	5.19	6.78
599	600	4.62	7.24	6.13	12.55
601	602	5.58	13.33	6.63	16.35
603	604	4.35	5.86	5.59	9.02
605	606	4.39	6.06	5.2	6.83
607	608	0.81	1.25	1.02	2.46
609	610	3.19	1.59	3.78	1.42
611	612	5.71	14.30	7.5	24.14
613	614	7.03	26.02	8.45	34.38
615	616	1.73	0.04	2.16	0.18
617	618	2.77	0.71	3.26	0.45
619	620	7.79	34.35	9.2	43.73
621	622	0.64	1.66	0.79	3.23
623	624	3.33	1.96	4.25	2.77
625	626	4.66	7.46	7.63	25.43
627	628	4.75	7.96	7.69	26.04
629	630	6.53	21.17	7.46	23.75
631	632	5.61	13.55	10.19	57.81
633	634	2.6	0.45	3.66	1.15
635	636	1.37	0.31	1.91	0.46

ORIGEM	DESTINO	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>		
		Dist. Eucl.	$(x_i - x_{\text{eucl.}})^2$	Dist. Rede	$(x_i - x_{\text{rede}})^2$
637	638	6.01	16.66	6.92	18.78
639	640	4.3	5.62	5.33	7.52
641	642	3.81	3.54	4.41	3.32
643	644	2.64	0.51	3.09	0.25
645	646	1.07	0.74	1.51	1.16
647	648	5.5	12.75	7.2	21.28
649	650	2.6	0.45	3.02	0.19
651	652	4.88	8.71	6.15	12.70
653	654	1.96	0.00	2.79	0.04
655	656	4.25	5.39	5.42	8.03
657	658	1.54	0.15	2.1	0.24
659	660	4.41	6.16	6.34	14.09
661	662	2.88	0.90	3.81	1.50
663	664	4.41	6.16	5.42	8.03
665	666	1.76	0.03	2.93	0.12
667	668	5.96	16.25	6.82	17.92
669	670	3.84	3.65	7.79	27.07
671	672	8.15	38.70	11.5	79.44
673	674	5.65	13.85	6.47	15.08
675	676	2.69	0.58	3.53	0.89
677	678	0.22	2.92	0.31	5.18
679	680	4.38	6.01	7.45	23.65
681	682	3.22	1.67	4.23	2.70
683	684	4.93	9.01	6.74	17.25
685	686	2.89	0.92	3.76	1.38
687	688	4.42	6.21	4.96	5.63
689	690	1.24	0.47	1.58	1.01
691	692	4.29	5.58	5.32	7.47
693	694	3.9	3.89	6.59	16.02
695	696	4.74	7.90	7.19	21.19
697	698	1.64	0.08	2.35	0.06
699	700	7.56	31.71	9.59	49.04
701	702	3.35	2.02	4.63	4.17
703	704	4.38	6.01	5.71	9.75
705	706	3.51	2.50	3.76	1.38
707	708	3.01	1.17	4.15	2.44
709	710	0.24	2.85	0.24	5.51
711	712	2.77	0.71	3.31	0.52
713	714	9.06	50.86	10.5	62.62
715	716	2.57	0.41	3.35	0.58
717	718	11.97	100.83	13.88	127.53
719	720	0.6	1.77	0.78	3.26
721	722	3.06	1.28	3.78	1.42
723	724	3.58	2.73	4.68	4.38
725	726	3.43	2.25	4.04	2.11
727	728	3.97	4.17	6.41	14.62
729	730	0.71	1.49	1.15	2.06
731	732	3.28	1.83	4.31	2.97
733	734	4.54	6.82	5.59	9.02
735	736	3.57	2.69	5.09	6.27
737	738	3.49	2.44	4.24	2.73
739	740	1.69	0.06	2.36	0.05

ORIGEM	DESTINO	<i>Amostra 1</i>	<i>Amostra 2</i>		
		Dist. Eucl.	$(x_i - \bar{x}_{eucl})^2$	Dist. Rede	$(x_i - \bar{x}_{rede})^2$
741	742	3.22	1.67	6.41	14.62
743	744	5.65	13.85	7.63	25.43
745	746	6.11	17.48	10.5	62.62
747	748	1.28	0.42	1.50	1.18
749	750	3.3	1.88	3.76	1.38
751	752	1.82	0.01	2.47	0.01
753	754	3.98	4.21	4.97	5.68
755	756	4.70	7.68	5.83	10.52
757	758	4.79	8.19	5.58	8.96
759	760	3.81	3.54	5.94	11.24
761	762	5.79	14.91	8.10	30.39
763	764	3.48	2.41	4.79	4.85
765	766	3.17	1.54	4.66	4.30
767	768	3.83	3.61	4.92	5.44
769	770	3.88	3.81	4.77	4.77
771	772	3.58	2.73	5.37	7.75
773	774	4.84	8.48	6.24	13.35
775	776	4.89	8.77	5.57	8.90
777	778	0.95	0.96	1.34	1.55
779	780	1.86	0.00	2.30	0.08
781	782	2.56	0.40	3.50	0.83
783	784	5.36	11.77	6.52	15.47
785	786	1.46	0.22	2.02	0.32
787	788	0.68	1.56	0.91	2.81
789	790	3.02	1.19	3.45	0.74
791	792	7.79	34.35	9.60	49.18
793	794	3.24	1.72	5.78	10.20
795	796	4.46	6.41	5.77	10.13
797	798	4.87	8.65	6.17	12.84
799	800	4.03	4.42	4.72	4.55
801	802	6.91	24.81	8.41	33.91
803	804	4.57	6.98	5.83	10.52
805	806	3.16	1.52	3.74	1.33
807	808	5.27	11.16	6.48	15.16
809	810	3.27	1.80	3.77	1.40
811	812	4.95	9.13	8.09	30.28
813	814	2.54	0.37	5.56	8.84
815	816	5.43	12.26	7.30	22.21
817	818	6.98	25.52	10.28	59.18
819	820	4.85	8.53	7.44	23.55

ANEXO A

AMOSTRA 2 – DISTÂNCIAS EM LINHA RETA (EUCLIDIANA) – Distribuição de Frequências

Média amostral $\bar{x}$ = soma ($f_i x_i$)/n =	3.8622
Variância amostral $V(\bar{x}) = \frac{\sum f_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1} =$	4.0282
Desvio Padrão $S^2 =$	2.0070

Distâncias	x_i	$f_i(\text{abs})$	$f_i x_i$	$\bar{x}$	$f_i \text{ rel.}(\%)$	f_i acum.(\%)	$f_i x_i^2$	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i(x_i - \bar{x})^2$
0.00 a 2.31	1.16	94	108.81	3.86	22.93	22.93	125.94	-2.70	7.32	687.65
2.31 a 4.63	3.47	181	628.52	3.86	44.15	67.07	2182.54	-0.39	0.15	27.49
4.63 a 6.95	5.79	109	630.88	3.86	26.59	93.99	3651.48	1.93	3.71	404.21
6.95 a 9.26	8.10	25	202.56	3.86	6.10	99.76	1641.26	4.24	17.98	449.50
9.26 a 11.58	10.42	0	0.00	3.86	0.00	99.76	0.00	6.56	42.97	0.00
11.58 a 13.89	12.73	1	12.73	3.86	0.24	100.00	162.12	8.87	78.68	78.68
Total		410	1583.50		100.00					1647.53

ANEXO A

AMOSTRA 1 – DISTÂNCIAS EM REDE (EFETIVA) – Distribuição de Frequências

Média amostral $\bar{x} = \text{soma } (f_i x_i)/(n-1) =$	5.1553
Variância amostral $V(\bar{x}) = f_i (x_i - \bar{x})^2/n-1 =$	6.2295
Desvio Padrão $S^2 =$	2.4959

Distâncias	x_i	$f_i(\text{abs})$	$f_i x_i$	$\bar{x}$	$f_i \text{ rel.}(\%)$	f_i acum.(\%)	$f_i x_i^2$	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i(x_i - \bar{x})^2$
0.00 a 2.31	1.16	60	69.45	5.16	14.63	14.63	80.39	-4.00	15.98	958.94
2.31 a 4.63	3.47	106	368.09	5.16	25.85	40.49	1278.18	-1.68	2.83	300.17
4.63 a 6.95	5.79	152	879.76	5.16	37.07	77.56	5091.97	0.63	0.40	60.83
6.95 a 9.26	8.10	71	575.28	5.16	17.32	94.88	4661.19	2.95	8.69	616.71
9.26 a 11.58	10.42	20	208.35	5.16	4.88	99.76	2170.49	5.26	27.69	553.81
11.58 a 13.89	12.73	1	12.73	5.16	0.24	100.00	162.12	7.58	57.41	57.41
Total		410	2113.66		100.00					2547.88

ANEXO B

ANEXO B - OBTENÇÃO DA RELAÇÃO LINEAR ENTRE AS DISTÂNCIAS

Distâncias em Rede e Distâncias em linha reta

A equação encontrada para expressar a relação linear entre as duas amostras de 410: a primeira referente à distâncias em rede e, a segunda, referente à distâncias em linha reta (euclidianas), para a cidade de São Carlos, obtida através de ajuste da reta, foi $y = 1.31x$, com $R^2=0.89$ e erro padrão de 0.82.

RESUMO DO RESULTADO DA REGRESSÃO

Estatística de regressão	
R múltiplo	0.94
R-Quadrado	0.89
R-Quadrado ajustado	0.89
Erro padrão	0.82
Nº de observações	410

Utilizando-se as duas amostras obtidas, pergunta-se: Os valores das distâncias corrigidas são realmente aproximados das distâncias efetivas? Ou seja, a hipótese de nula “ haver diferença” entre as médias populacionais. Utilizando 1 g. l., verifica-se que o valor de $F=3302.85$ é muito distante do valor crítico (F de significação) $=1.05E-197$, rejeita-se folgadoamente H_0 .

	Grau liberdade	Soma Quadrados	Quadrado médio	F	F de significação
Regressão	1	2231.19	2231.19	3302.85	1.0558E-197
Resíduo	409	276.29	0.67		
Total	410	2507.48			

$F \gg F$ de significação

Rejeita-se folgadoamente H_0

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P
Interseção	0			
Variável X 1	1.31	0.0094	139.67	0

ANEXO C

ANEXO C - COMPARAÇÃO DE MÉDIAS AMOSTRAIS

Duas amostras foram retiradas da população atendida pela distribuidora de bebidas na cidade de São Carlos. Uma, referente às distâncias em rede e outra, referente às distâncias euclidianas corrigidas. Através de procedimentos estatísticos foram obtidos os seguintes parâmetros:

Distâncias	Em rede (observada)	Euclidiana (corrigida)
Diferença das médias $\bar{x}_1 - \bar{x}_2 =$	1.7129	1.6827
Desvio padrão (s_1 e s_2)	1.5158	1.4895
Variância ($s_1^2 - s_2^2$)	2.2975	2.2185

Hipótese nula (Ho)	$\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$
Hipótese alternativa (H1)	$\bar{x}_1 = \bar{x}_2$

$$\text{Média } (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) = 0.0302$$

$$s(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) = 0.3817$$

Nível de significação 1%, o valor crítico de z :

$$Z_{0,5\%} = 2.576$$

$$\text{Erro} = s(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \times Z_{0,5\%} = 0.9847$$

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - \text{erro} = -0.9545$$

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 + \text{erro} = 1.0149$$

Nível de significação 5%, o valor crítico de z :

$$Z_{2,5\%} = 1.960$$

$$\text{Erro} = s(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \times Z_{2,5\%} = 0.7480$$

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - \text{erro} = -0.7179$$

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 + \text{erro} = 0.7783$$

Nível de significação 10%, o valor crítico de z :

$$Z_{5\%} = 1.650$$

$$\text{Erro} = s(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \times Z_{5\%} = 0.6297$$

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 - \text{erro} = -0.5996$$

$$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 + \text{erro} = 0.6600$$

Como zero está dentro dos intervalos calculados para os três níveis de significação, rejeita-se Ho aos níveis de $\alpha = 1\%$; $\alpha = 5\%$; $\alpha = 10\%$.

ORIGEM	DESTINO	AMOSTRA 1			AMOSTRA 2	
		Dist. eucl.	D rede (observada)	D eucl. (corrigida)		
Deposito	cliente 1	1.19	1.45	1.56		
cliente 1	cliente2	0.52	0.92	0.68		
cliente 2	cliente 3	2.03	2.30	2.66		
cliente 3	cliente4	1.13	1.41	1.48		
cliente 4	cliente5	1.02	1.78	1.34		
cliente 5	cliente6	1.06	1.13	1.39		
cliente 9	cliente10	4.61	6.14	6.04		
cliente 10	cliente11	0.93	1.29	1.22		
cliente 11	cliente12	1.88	4.69	2.46		
cliente 13	cliente14	1.51	2.09	1.98		
cliente 14	cliente15	0.50	0.79	0.66		
cliente 15	cliente16	0.14	0.46	0.18		
cliente 16	cliente17	0.15	0.15	0.20		
cliente 17	cliente18	0.21	0.21	0.28		
cliente 18	cliente19	1.53	2.10	2.00		
cliente 22	cliente23	2.32	2.18	3.04		
cliente 24	cliente25	3.75	4.41	4.91		
cliente 25	cliente26	3.01	3.89	3.94		
cliente 26	cliente27	0.29	0.40	0.38		
cliente 27	cliente28	1.92	1.29	2.52		
cliente 28	cliente29	0.28	0.34	0.37		
cliente 29	cliente30	0.31	0.40	0.41		
cliente 32	cliente33	0.15	0.15	0.20		
cliente 33	cliente34	0.08	0.08	0.10		
cliente 34	cliente35	0.36	0.37	0.47		
cliente 35	cliente36	0.92	1.97	1.21		
cliente 36	cliente37	2.90	3.29	3.80		
cliente 38	cliente39	0.21	0.29	0.28		
cliente 39	cliente40	1.37	1.71	1.79		
cliente 40	cliente41	1.66	2.42	2.17		
cliente 41	deposito	1.88	3.00	2.46		
Soma			53.10	52.16		

ANEXO D

ANEXO D - RELATÓRIOS DE ITINERÁRIOS DE ENTREGAS

Relatório da distribuidora de bebidas

Motorista: Jair	Quilometragem	Horário
saída depósito	170892	8:40
chegada ponto CM	170906	11:45
saída ponto CM	170906	14:10
chegada depósito	170916	15:50
Total	24 km	7:10

OBS: O tempo de percurso está acrescido do tempo parado no almoço.

Relatório fornecido pelo TransCAD

PRAÇA 1 ROTA A - Distância Euclidiana corrigida 22/02/1999
Itinerary Report

Tour # : 1 Vehicle Type: M 608 Capacity: 4500.0
Tot Time: 7:00 Tot Distance: 20.5 Tot Load: 24.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Load
DEPOSITO		- 9:49am		
1	ANTONIO FCO FRACELIN ME	10:00am-10:10am	4.10	1.0
2	WILMA AP. ALBINI COLANGELO	10:11am-10:21am	0.51	1.0
3	JOSE CARLOS DE FARIA LANCH	10:21am-10:31am	0.16	1.0
4	CASA DE FRIOS PEREIRA	10:33am-10:43am	0.76	1.0
5	ATILIO AQUARELLI ME	10:43am-10:53am	0.21	1.0
6	V. VALERIO	10:54am-11:04am	0.26	1.0
7	VALDECI LANCHES	11:04am-11:14am	0.43	1.0
8	ROBERTO MARCIANAO DOS SANT	11:15am-11:25am	0.34	1.0
9	ANTONIO PAVIOLLI S. CARLOS	11:25am-11:35am	0.15	1.0
10	CASA MOTORISTA	11:38am- 2:00pm	1.15	1.0
11	JOAQUIM URBANO	2:02pm- 2:12pm	0.88	1.0
12	BENEDITO MIGUEL	2:16pm- 2:26pm	0.82	1.0
13	EDSON LUIS PERONDI	2:26pm- 2:36pm	0.32	1.0

14	LEONILDO BATISTA CALAZANS	2:37pm- 2:47pm	0.32	1.0
15	FRANCISCO CARLOS RODRIGUES	2:48pm- 2:58pm	0.34	1.0
16	APARECIDO D. SILVA	3:00pm- 3:10pm	1.38	1.0
17	CARLOS ALBERTO DE SANTI	3:12pm- 3:22pm	1.03	1.0
18	ADEMIR APARECIDO DA SILVA	3:22pm- 3:32pm	0.14	1.0
19	COMERCIAL M. A. D. LTDA	3:33pm- 3:43pm	0.21	1.0
20	KUKA'S BAR LTDA	3:44pm- 3:54pm	0.60	1.0
21	GETULIO CAMPIDELLI	3:56pm- 4:06pm	0.81	1.0
22	CLAUDECIR TADEU MURETI & C	4:07pm- 4:17pm	0.47	1.0
23	SPOLAOR & FALCAO LTDA	4:19pm- 4:29pm	0.54	1.0
24	NELSON ANTONIO DE SOUZA S.	4:30pm- 4:40pm	0.55	1.0
END	DEPOSITO	4:49pm	4.05	

OBS: O tempo de percurso está acrescido do tempo parado no almoço.

ANEXO D - RELATÓRIO DE ITINERÁRIOS DE ENTREGAS (TransCAD)

Relatório da distribuidora de bebidas

Motorista: Ivan	Quilometragem	Horário
saída depósito	149146	8:30
chegada ponto CM	149170	12:50
saída ponto CM	149170	14:30
chegada depósito	149188	16:20
Total	43 km	7:50

OBS: O tempo de percurso está acrescido do tempo parado no almoço.

PRAÇA 3 ROTA A - Distância euclidiana corrigida
Itinerary Report

22/02/1999

Tour # : 1 Vehicle Type: M 608 Capacity: 4500.0
Tot Time: 8:07 Tot Distance: 39.41 Tot Load: 34.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Load
DEPOSITO LUMAR		- 8:47am		
1	NELSON MECCA PINTO	8:50am- 9:00am	1.44	1.0
2	CARLOS DOMINGOS ANICETO	9:16am- 9:26am	0.05	1.0
3	ELVIRA OLIVATTO NORDI	9:00am- 9:08am	0.12	1.0
	MARCELO REGINALDO ZANGOTTI	9:08am- 9:16am		1.0
5	MECCA E ASFALTO	9:27am- 9:37am	0.27	1.0
6	REGINALDO SCIESCIA ME	9:38am- 9:48am	0.34	1.0
7	FAZENDA HOTEL SAO CARLOS	9:51am-10:01am	1.03	1.0
8	RAFAEL B DE OLIVEIRA	10:02am-10:12am	0.60	1.0
9	FRANCISCO ALVES DOS SANTOS	10:13am-10:23am	0.13	1.0
11	J V SANTOS E SANTOS	10:34am-10:44am	0.25	1.0
10	SORVETERIA TANGARA	10:23am-10:33am	0.29	1.0
12	LUIS C MOREIRA DA SILVA	10:44am-10:54am	0.27	1.0
13	FRANCISCA M SOUZA GOMES	10:56am-11:06am	1.03	1.0
14	LUZVALDO JOSE VICENTE	11:16am-11:26am	0.14	1.0

15	MERCADINHO TROPICAL	11:06am-11:16am	0.13	1.0
16	LEIVA E LEIVA SAO CARLOS	11:27am-11:37am	0.39	1.0
17	LUIZA AP JORGE DO AMARAL	11:38am-11:48am	0.45	1.0
18	JOSEFA RAIMUNDA DA SILVA	11:48am-11:58am	0.27	1.0
19	CASA MOTORISTA	12:00pm- 1:42pm	0.82	1.0
20	JOSE EDEZIO DE BRITO	1:56pm- 2:06pm	1.27	1.0
21	NILZA GONCALVES VICENTE	1:44pm- 1:54pm	1.04	1.0
22	BAR REST COMIDA CASEIRA	2:11pm- 2:21pm	4.50	1.0
23	JOSE M RODRIGUES SOUZA	2:23pm- 2:33pm	1.10	1.0
24	PEDRO IEMBO	2:34pm- 2:44pm	0.15	1.0
25	OLIVEIRA E SILVA	2:44pm- 2:54pm	0.15	1.0
26	PASCHOAL CRUZ	2:55pm- 3:05pm	0.29	1.0
27	ISRAEL MARTINS SANTOS	3:06pm- 3:16pm	0.42	1.0
28	MASSAS E FRIOS VIEIRA	3:16pm- 3:26pm	0.20	1.0
29	RITA DE CASSIA NOGUEIRA	3:37pm- 3:47pm	0.23	1.0
30	EVAN FERNANDO AGUIAR	3:26pm- 3:36pm	0.09	1.0
31	JOSE MOREIRA DOS SANTOS	3:48pm- 3:58pm	0.33	1.0
32	MOREIRA E ROGINSKI	3:58pm- 4:08pm	0.32	1.0
33	FAZENDA STA MARIA	4:21pm- 4:31pm	10.76	1.0
34	VILMA M BORGES	4:39pm- 4:49pm	7.95	1.0
END DEPOSITO LUMAR		4:54pm	2.59	

OBS: O tempo de percurso está acrescido do tempo parado no almoço.

ANEXO D - RELATÓRIOS DE ITINERÁRIOS DE ENTREGAS

Relatório da distribuidora de bebidas

Motorista: Joel	Quilometragem	Horário
saída depósito	190563	8:20
chegada ponto CM	190592	12:30
saída ponto CM	190592	13:50
chegada depósito	190593	14:44
Total	30 km	6:24

OBS: O tempo de percurso está acrescido do tempo parado no almoço

Relatório fornecido pelo TransCAD

PRAÇA 7 ROTA A - Distância euclidiana corrigida 22/02/1999

Itinerary Report

Tour #: 1 Vehicle Type: M 608 Capacity: 4500 kg
 Tot Time: 5:28 Tot Dist: 18.59 Tot Load: 17.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Load
-	DEPOSITO	10:00		
1	MARCO ANTONIO MANZINI	10:03 - 10:23	1.94	1.0
2	ALFRED RESTAURANTE LTDA	10:14 - 10:24	0.29	1.0
3	SAO CARLOS PAES E DOCES	10:25 - 10:35	0.12	1.0
4	ELISABETH APARECIDA VELLOSO	10:35 - 10:45	0.16	1.0
5	AZOURI PLAZA	10:46 - 10:56	0.13	1.0
6	CHURRASCARIA VALTER	10:57 - 11:07	0.43	1.0
7	PAIUTTA & CIA	11:07 - 11:17	0.17	1.0
8	DALZIRA RODRIGUES DIAS	11:18 - 11:28	0.29	1.0
9	EPISKOBAR LANCHES LTDA	11:28 - 11:38	0.35	1.0
10	RIBEIRO E SILVA LTDA	11:40 - 11:50	1.29	1.0
11	CAFE ELITE	11:54 - 12:04	1.37	1.0
12	SHOPPING CENTER C D PETROLEO	12:09 - 12:09	1.64	1.0
13	MIKIO SUGUI CIA LTDA	12:21 - 12:31	2.10	1.0
14	CASA DO MOTORISTA (JOEL)	12:38 - 14:48	3.16	1.0

15	DUARTE E BORGES LTDA	14:55 - 15:05	3.03	1.0
16	GIRLEI CARLOS VICENTE	15:05 - 15:15	0.13	1.0
17	ITALIANO & GUIDENI LTDA	15:16 - 15:26	0.41	1.0
END	DEPOSITO	15:28	1.58	

OBS: O tempo de percurso está acrescido do tempo parado no almoço

ANEXO D - RELATÓRIOS DE ITINERÁRIOS DE ENTREGAS

Relatório da distribuidora de bebidas

Motorista: Ari	Quilometragem	Horário
saída depósito	41264	8:30
chegada ponto CM	41283	12:10
saída ponto CM	-----	14:10
chegada depósito	41291	14:20
Total	27 km	5:50

Relatório fornecido pelo TransCAD

PRAÇA 1 ROTA B - Distância euclidiana corrigida 23/02/1999

Itinerary Report

Tour # : 1 Vehicle Type: M 608 Capacity: 4500.0
 Tot Time: 4:55 Tot Distance: 14.67 Tot Load: 2805.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Load
DEPOSITO		-10:50am		
1	MARIS BAR	11:00am-11:10am	3.73	26.0
2	STRUZIATO E SIMOES	11:11am-11:21am	0.63	443.0
3	JOAO APARECIDO PAZINI	11:21am-11:31am	0.37	28.0
4	GUERINO FRACANSO	11:33am-11:43am	0.43	145.0
5	CLEUSA APARECIDA STRUZIATO	11:44am-11:54am	0.65	33.0
6	CASA MOTORISTA	12:00pm- 2:00pm	2.47	0.0
7	TEREZA CORTEZ NUNES	2:06pm- 2:16pm	3.05	375.0
8	ANTONIO LUIZ BRAGA	2:17pm- 2:27pm	0.46	32.0
9	ZAGUETTI & ZAGUETTL	2:27pm- 2:37pm	0.13	20.0
10	JAMIR ANTONIO BISCALHIN	2:38pm- 2:48pm	0.67	58.0
11	MAZARI & GALLO	2:49pm- 2:59pm	0.52	39.0
12	OTAVIO ZAGO	2:59pm- 3:09pm	0.26	148.0
13	MARINI & MARINI SAO CARLOS	3:10pm- 3:20pm	0.13	386.0
14	CARLOS ALBERTO FRAGANTE	3:20pm- 3:30pm	0.13	116.0
15	COGEB I	3:34pm- 3:44pm	2.03	956.0
END DEPOSITO		3:46pm	1.04	0.0

ANEXO D - RELATÓRIOS DE ITINERÁRIOS DE ENTREGAS

Relatório da distribuidora de bebidas

Motorista: Ivan	Quilometragem	Horário
saída depósito	149641	8:15
chegada ponto CM	149665	13:20
saída ponto CM	-----	14:55
chegada depósito	149673	16:20
Total	32 km	6:30

OBS: O tempo de percurso está acrescido do tempo parado no almoço.

Relatório fornecido pelo TransCAD

PRAÇA 3 ROTA B - Distância euclidiana corrigida
Itinerary Report

23/02/1999

Tour #: 1 Vehicle Type: M 608 Capacity: 4500.0
Tot Time: 6:16 Tot Dist: 27.83 Tot Load: 4463.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Load
	DEPOSITO LUMAR	7:57		
1	MAURANI MAURICIO MARQUES	8:00 - 8:10	1.45	264.0
2	HOTEL INDAIA	8:11 - 8:21	0.51	10.0
3	BOTTANI E CIA	8:24 - 8:34	1.17	160.0
4	JOSE CARLOS VELTRONE	8:39 - 8:49	2.02	78.0
5	SONIA FERNANDES PINHEIRO	8:50 - 9:00	0.22	23.0
6	MARCO ANGELO VIZZOTO	9:01 - 9:11	0.38	113.0
7	ORLANDA MARQUES FERREIRA	9:11 - 9:21	0.27	63.0
8	VILMA M BORGES	9:23 - 9:33	0.96	359.0
9	MARLENE I VENDRASCO	9:36 - 9:46	1.48	10.0
10	JOSE ALPOIN ALMEIDA MELLO	9:46 - 9:56	0.27	78.0
11	CARVALHO E CARVALHO	9:57 - 10:07	0.21	218.0
12	CHURRACARIA TABAJARA	10:08 - 10:18	0.95	726.0
13	RENATO BARBOSA	10:19 - 10:29	0.26	73.0
14	VALDIR TORRES CIA	10:30 - 10:40	0.53	58.0
15	ADRIANO GOMES DIAS	10:41 - 10:51	0.73	71.0

16	PILA E CAMPOS	10:51 - 11:01	0.26	245.0
17	AGOSTINHO MATIOLI	11:03 - 11:13	0.88	126.0
18	EUGENIO DEPETRI JUNIOR	11:14 - 11:24	0.52	808.0
19	CARMELIA MARIA SOUZA	11:29 - 11:39	2.82	78.0
20	ANTONIAZZI AND ANTONIAZZI	11:46 - 11:56	3.18	147.0
21	CASA MOTORISTA 3	12:01 - 12:11	2.69	0.0
22	CARLOS DOS SANTOS MACEDO	12:16 - 12:26	2.38	34.0
23	VALDIR CRISTINELLI	12:26 - 12:36	0.16	8.0
24	J GARCIA E GARCIA	12:36 - 12:46	0.47	136.0
25	IVAN LEAO SIQUEIRA	12:48 - 12:58	0.28	58.0
26	MARLENE VIEIRA DA SILVA	12:58 - 13:08	0.16	20.0
27	EMILIO BLANCO 1336	13:09 - 13:19	0.69	90.0
28	ANTONIO PAULA SILVA	13:20 - 13:30	0.09	160.0
29	NATALINO A FREITAS	13:30 - 13:40	0.10	40.0
30	NILCE NUNES DE SIQUEIRA	13:41 - 13:51	0.37	15.0
31	ANTONIO C CABRAL	13:51 - 14:01	0.41	68.0
32	OTAVIO J CORREA	14:03 - 14:13	0.73	126.0
END	DEPOSITO LUMAR	14:13	0.23	

OBS: O tempo de percurso está acrescido do tempo parado no almoço.

ANEXO D - RELATÓRIOS DE ITINERÁRIOS DE ENTREGAS

Relatório da distribuidora de bebidas

Motorista: Alemão	Quilometragem	Horário
saída depósito	92003	8:10
chegada ponto CM	92021	11:30
saída ponto CM	-----	14:00
chegada depósito	92031	15:44
Total	28 km	5:05

OBS: O tempo de percurso está acrescido do tempo parado no almoço.

Relatório fornecido pelo TransCAD

PRAÇA 7 ROTA B - Distância euclidiana 23/02/1999
Itinerary Report

Tour # : 1		Vehicle Type: M 608	Capacity: 4500.0	
Tot Time: 6:40		Tot Distance: 21.9	Tot Load: 5120 kg	
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Load
DEPOSITO		-10:17am		
1	BARRA E SCIASCI LTDA	10:21am-10:31am	1.97	65.0
2	ZHU XIHUA	10:32am-10:42am	0.18	23.0
3	JOSE AP CABRAL	10:44am-10:54am	0.99	116.0
4	RAIMUNDO NONATO MARTINS	10:55am-11:05am	0.52	98.0
5	ANTONIO C NONATO	11:05am-11:15am	0.13	556.0
6	NELSON ZANELLA	11:16am-11:26am	0.09	290.0
7	LUIS A GIANLOURENCO ME	11:26am-11:36am	0.10	148.0
8	PASTELARIA EPISCOPAL LTDA	11:36am-11:46am	0.05	51.0
9	CASA DO MOTORISTA (ALEMAO)	12:00pm- 2:00pm	6.23	0.0
10	ZENATTI E CARIDADE LTDA	2:11pm- 2:21pm	4.76	19.0
	EDEMIR CARLOS MORELI	2:21pm- 2:31pm		47.0
	CHEN YAN YUN S CARLOS	2:31pm- 2:41pm		52.0
13	CARLOS CESAR DOMINGUES	2:41pm- 2:51pm	0.13	58.0
14	REST E LANCHONETE ROMA S/C	2:52pm- 3:02pm	0.05	1812.0
	CUNHA & COLIN LTDA	3:02pm- 3:12pm		87.0
16	JOSE TARCISIO ALVES	3:12pm- 3:22pm	0.16	1024.0
17	JOSE PIZANELI ME	3:22pm- 3:32pm	0.26	58.0

18 MAURO CERRI JR	3:33pm- 3:43pm	0.39	26.0
19 VALENTIM AP PALLACI	3:44pm- 3:54pm	0.52	20.0
20 JEFERSON MELLO	3:55pm- 4:05pm	0.49	58.0
21 ORLANDO Y KAIBARA	4:05pm- 4:15pm	0.20	284.0
22 SHOPPING CENTER C D PETROL	4:17pm- 4:27pm	1.02	8.0
23 MIKIO SUGUI CIA LTDA	4:32pm- 4:42pm	2.09	145.0
24 ALMEIDA CARVALHO	4:42pm- 4:52pm	0.13	75.0
END DEPOSITO	4:57pm	1.49	

OBS: O tempo de percurso está acrescido do tempo parado no almoço.

ANEXO D - RELATÓRIOS DE ITINERÁRIOS DE ENTREGAS

Relatório da distribuidora de bebidas

Motorista: Ari	Quilometragem	Horário
saída depósito	41301	8:45
chegada ponto CM	41319	13:26
saída ponto CM	-----	15:15
chegada depósito	41339	15:50
Total	38 km	7:05

OBS: O tempo de percurso está acrescido do tempo parado no almoço.

Relatório fornecido pelo TransCAD

PRAÇA 1 ROTA A - Distância euclidiana corrigida

24/02/1999

Itinerary Report

Tour # : 1 Vehicle Type: 608 Capacity: 4500.0
 Tot Time: 7:08 Tot Distance: 28.45 Tot Load: 26.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Load
DEPOSITO		- 8:00am		
1	GERALDO F SANTOS	8:03am- 8:13am	0.87	1.0
2	JOVAIR MUNSIGNATTI	8:14am- 8:24am	0.31	1.0
3	JOSE ARAUJO PEREIRA	8:29am- 8:39am	2.41	1.0
4	EMILIO FERRATI	8:43am- 8:53am	1.86	1.0
5	SILVA E CANTI	8:53am- 9:03am	0.13	1.0
6	MARIA AP RODRIGUES	9:04am- 9:04am	0.54	1.0
7	SERGIO CARLOS MELLO	9:14am- 9:24am	0.17	1.0
8	ANTONIO CAVAGLIERI	9:15am- 9:25am	0.47	1.0
9	I L GARCIA	9:36am- 9:46am	0.24	1.0
10	BAR MERC COSTA DO SOL	9:46am- 9:56am	0.35	1.0
11	AUTO POSTO ESTANCIA SUICA	9:57m -10:07am	0.33	1.0
12	ANTONIO C CABRAL	10:08am-10:08am	0.51	1.0
13	SIDNEI AP MANGERONA	10:20am-10:30am	0.80	1.0
14	JULIO M DE SANTI	10:35am-10:45am	2.22	1.0

15	PANIF DON GIUSEPE DE S. C.	10:46am-10:56am	0.26	1.0
16	ELIZABETTI IZIDORIO SILVA	10:56am-11:06am	0.27	1.0
17	PETROMILLI PIOVESANBARENNE	11:07am-11:17am	0.43	1.0
18	MECCA & MECCA	11:18am-11:28am	0.28	1.0
19	PADARIA CONF PAVANI	11:28am-11:38am	0.13	1.0
20	MARCIA PEREIRA SAO CARLOS	11:38am-11:48am	0.14	1.0
21	CASA MOTORISTA 1	11:55pm- 1:55pm	3.03	1.0
22	J N CARRARA	2:00pm- 2:10pm	2.37	1.0
23	RAFAEL OSVALDO RECHIA	2:12pm- 2:22pm	0.85	1.0
24	SPOSITO & SPOSITO	2:29pm- 2:39pm	3.58	1.0
25	ARIOVALDO COLOCA	2:46pm- 2:56pm	3.62	1.0
*26	JOAO LUIZ FERREIRA	2:58pm- 3:08pm	1.24	1.0
END	DEPOSITO	3:13pm	1.0	

OBS: O tempo de percurso está acrescido do tempo parado no almoço.

* servir após às 12:00hs.

ANEXO D - RELATÓRIOS DE ITINERÁRIOS DE ENTREGAS

Relatório da distribuidora de bebidas

Motorista: Ivan	Quilometragem	Horário
saída depósito	149743	8:10
chegada ponto CM	149765	12:48
saída ponto CM	-----	14:36
chegada depósito	149772	14:50
Total	29 km	6:40

OBS: O tempo de percurso está acrescido do tempo parado no almoço.

Relatório fornecido pelo TransCAD

PRAÇA 3 ROTA C - Distância euclidiana corrigida 24/02/1999
Itinerary Report

Tour # : 1 Vehicle Type: 608 Capacity: 4500.0
Tot Time: 5:49 Tot Distance: 24.87 Tot Load: 19.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Load
DEPOSITO LUMAR		- 8:17am		
1	BENEDITO DOMINGUES AMARAL	8:23am- 8:33am	2.11	1.0
2	FCA G DE O SAO CARLOS	8:37am- 8:47am	2.45	1.0
3	ODALETE MARTINS	8:48am- 8:58am	0.25	1.0
4	BECCOS S RESTAURANTE	9:00am- 9:10am	1.23	1.0
5	BERTOFFER COMERCIO E GENER	9:11am- 9:21am	1.97	1.0
6	SALAO DE FESTAS STA CASA	9:22am- 9:32am	0.48	1.0
7	MERCANTIL DERIVADOS DE PET	9:32am- 9:42am	0.24	1.0
8	PETROSHOPPING	9:47am- 9:57am	2.16	1.0
9	KEITON ANICETO	9:59am-10:09am	0.63	1.0
10	FLORENCIO VIEIRA	10:10am-10:20am	0.73	1.0
11	AUTO POSTO FLAMBOYAND	10:21am-10:31am	0.33	1.0
12	CARVALHO E CARVALHO	10:32am-10:42am	0.41	1.0
13	MARCO ANGELO VIZZOTO	10:42am-10:52am	0.49	1.0
14	PADARIA E CONF MULTI	10:53am-11:03am	0.14	1.0
15	VITOR HUGO BONFIM	11:06am-11:16am	1.43	1.0

16 JONES PAIZ	11:19am-11:29am	1.23	1.0
17 SAMUEL A B BENEDITO	11:30am-11:40am	0.31	1.0
18 MARIA APARECIDA BARBOSA FA	11:40am-11:50am	0.27	1.0
19 CASA MOTORISTA 3	12:00pm- 2:00pm	4.47	1.0
END DEPOSITO LUMAR	2:07pm	3.54	

OBS: O tempo de percurso está acrescido do tempo parado no almoço.

ANEXO D - RELATÓRIOS DE ITINERÁRIOS DE ENTREGAS

Relatório da distribuidora de bebidas

Motorista: Joel	Quilometragem	Horário
saída depósito	191160	8:45
chegada ponto CM	191188	11:55
saída ponto CM	-----	13:55
chegada depósito	191178	14:35
Total	18 km	5:50

OBS: O tempo de percurso está acrescido do tempo parado no almoço.

Relatório fornecido pelo TransCAD

PRAÇA 7 ROTA C - Distância euclidiana corrigida
Itinerary Report

24/02/1999

Tour #: 1 Vehicle Type: M 608 Capacity: 4500.0
Tot Time: 3:01 Tot Dist: 9.43 Tot Load: 16.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Load
-	DEPOSITO	9:09		
1	ITALIANO & GUIDENI LTDA	9:13 - 9:23	0.83	1.0
2	ALFRED RESTAURANTE LTDA	9:24 - 9:34	0.43	1.0
3	ELISABETH APARECIDA VELLOSO	9:34 - 9:44	0.27	1.0
4	AZOURI PLAZA	9:44 - 9:54	0.13	1.0
5	MARIO ROCHA	9:55 - 10:05	0.38	1.0
6	MARCIA HELENA MARQUES DOTTA	10:06 - 10:16	0.30	1.0
7	OSNIR LUIS DA SILVA	10:16 - 10:26	0.29	1.0
8	CHURRASCARIA VALTER	10:28 - 10:38	0.56	1.0
9	MUNDO E PERRE LTDA	10:38 - 10:48	0.19	1.0
10	PAIUTTA & CIA	10:49 - 10:59	0.17	1.0
11	EPISKOBAR LANCHES LTDA	10:59 - 11:09	0.41	1.0
12	FAVORITO E ARMANDO LTDA	11:10 - 11:20	0.22	1.0
13	SERGIO CARLOS DELLANTONIA	11:22 - 11:32	0.56	1.0
14	DALZIRA RODRIGUES DIAS	11:33 - 11:43	0.81	1.0
15	MARCO ANTONIO MANZINI	11:44 - 11:54	0.30	1.0

16	CASA MOTORISTA	11:59 - 12:10	2.74	1.0
END	DEPOSITO	12:11	0.84	

OBS: O tempo de percurso está acrescido do tempo parado no almoço.

ANEXO E

RELATÓRIO DE SAÍDA FORNECIDO PELO TransCAD PARA ENTREGAS DA SEGUNDA-FEIRA NA ÁREA 1 (VEH_TYPE: MB. 608)

CLIENTE	Seqüência	Intervalo de atendimento		horário de chegada	tempo de Espera	tempo de serviço	horário de partida	tempo de viagem	Percurso	Distância total	carga total
		início	fim								
Deposito	0	420.0	1020.0				590.0			0.00	0.0
Antônio Fco Fracelin Me	1	420.0	600.0	600.0	0.0	10.0	610.0	10.0	4.69	4.69	1.0
Wilma Ap. Albini Colangel	2	480.0	1080.0	610.8	0.0	10.0	620.8	0.8	0.39	5.08	2.0
José Carlos de Faria Lanchonete	3	480.0	1080.0	621.1	0.0	10.0	631.1	0.3	0.12	5.20	3.0
Casa de Frios Pereira	4	480.0	1080.0	632.7	0.0	10.0	642.7	1.6	0.75	5.95	4.0
Atilio Aquarelli Me	5	480.0	1080.0	643.2	0.0	10.0	653.2	0.5	0.22	6.17	5.0
V. Valério	6	480.0	1080.0	653.6	0.0	10.0	663.6	0.4	0.20	6.37	6.0
Valdeci Lanches	7	480.0	1080.0	664.3	0.0	10.0	674.3	0.7	0.33	6.70	7.0
Roberto Marciano dos San	8	480.0	1080.0	674.9	0.0	10.0	684.9	0.5	0.26	6.95	8.0
Antônio Paviolli S. CARLO	9	480.0	1080.0	685.1	0.0	10.0	695.1	0.3	0.12	7.08	9.0
Casa Motorista 1	10	720.0	780.0	698.0	22.0	120.0	840.0	2.9	1.35	8.42	10.0
Joaquim Urbano	11	480.0	1080.0	842.1	0.0	10.0	852.1	2.1	1.00	9.42	11.0
Benedito Miguel	12	480.0	1080.0	853.6	0.0	10.0	863.6	1.4	0.66	10.08	12.0
Edson Luís Perondi	13	480.0	1080.0	864.2	0.0	10.0	874.2	0.6	0.30	10.38	13.0
Leonildo Batista Calazans	14	480.0	1080.0	874.9	0.0	10.0	884.9	0.7	0.33	10.71	14.0
Francisco Carlos Rodrigues	15	480.0	1080.0	885.6	0.0	10.0	895.6	0.7	0.32	11.03	15.0
Aparecido d. Silva	16	480.0	1080.0	898.3	0.0	10.0	908.3	2.7	1.28	12.31	16.0
Carlos Alberto de Santi	17	480.0	1080.0	910.1	0.0	10.0	920.1	1.7	0.81	13.12	17.0
Ademir Aparecido Da Silva	18	480.0	1080.0	920.3	0.0	10.0	930.3	0.2	0.11	13.23	18.0
Comercial M. A. D. LTDA	19	480.0	1080.0	930.7	0.0	10.0	940.7	0.4	0.16	13.40	19.0
Kuka's Bar LTDA	20	480.0	1080.0	941.7	0.0	10.0	951.7	1.1	0.51	13.90	20.0
Getúlio Campidelli	21	480.0	1080.0	953.6	0.0	10.0	963.6	1.9	0.89	14.77	21.0
Claudecir Tadeu Mureti &	22	480.0	1080.0	964.5	0.0	10.0	974.5	1.0	0.44	15.21	22.0
Spolaor & Falcão Ltda.	23	480.0	1080.0	975.8	0.0	10.0	985.8	1.2	0.56	15.77	23.0
Nelson Antônio de Souza s	24	480.0	1080.0	986.6	0.0	10.0	996.6	0.9	0.42	16.19	24.0
Depósito	25	420.0	1020.0	1006.5		10.0		9.8	4.58	20.77	
Total						360.0		44.4	21.10		

RELATÓRIO DE SAÍDA FORNECIDO PELO TransCAD PARA ENTREGAS DA SEGUNDA-FEIRA NA ÁREA 3 (VEH_TYPE: M 608)

CLIENTE	Seqüência	Intervalo de atendimento início fim	horário de chegada	tempo de Espera	tempo de serviço	horário de partida	tempo de viagem	Percurso	Distância total	carga total
Deposito	0	420.0 1020.0			0.0	527.5			0.00	0.00
Nelson Mecca Pinto	1	420.0 1080.0	530.0	0.0	10.0	540.0	2.5	1.21	1.44	1.00
Elvira Olivatto Nordi	2	480.0 1080.0	540.3	0.0	8.0	548.3	0.3	0.14	1.56	2.00
Marcelo Reginaldo Zangotti	3	480.0 1080.0	548.3	0.0	8.0	556.3	0.0	0.00	1.56	3.00
Carlos Domingos Aniceto	4	480.0 1080.0	556.5	0.0	10.0	566.5	0.1	0.10	1.61	4.00
Mecca e Asfalto	5	480.0 1080.0	566.9	0.0	10.0	576.9	0.5	0.23	1.88	5.00
Reginaldo Sciescia Me	6	480.0 1080.0	577.6	0.0	10.0	587.6	0.7	0.30	2.22	6.00
Fazenda Hotel São Carlos	7	480.0 1080.0	591.3	0.0	10.0	601.3	3.6	1.72	3.25	7.00
Rafael B de Oliveira	8	480.0 1080.0	602.3	0.0	10.0	612.3	1.0	0.50	3.85	8.00
Francisco Alves dos Santos	9	480.0 1080.0	612.6	0.0	10.0	622.6	0.3	0.10	3.98	9.00
Sorveteria Tangará	10	480.0 1080.0	623.1	0.0	10.0	633.1	0.5	0.24	4.27	10.00
J V Santos e Santos	11	480.0 1080.0	633.8	0.0	10.0	643.8	0.6	0.31	4.52	11.00
Luís C Moreira da Silva	12	480.0 1080.0	644.3	0.0	10.0	654.3	0.5	0.23	4.79	12.00
Francisca M Souza Gomes	13	480.0 1080.0	655.9	0.0	10.0	665.9	1.6	1.10	5.82	13.00
Mercadinho Tropical	14	480.0 1080.0	666.0	0.0	10.0	676.0	0.2	0.10	5.95	14.00
Luzvaldo José Vicente	15	480.0 1080.0	676.3	0.0	10.0	686.3	0.2	0.12	6.09	15.00
Leiva e Leiva São Carlos	16	480.0 1080.0	687.0	0.0	10.0	697.0	0.7	0.32	6.48	16.00
Luiza Ap Jorge do Amaral	17	480.0 1080.0	697.9	0.0	10.0	707.9	0.8	0.40	6.93	17.00
Josefa Raimunda da Silva	18	480.0 1080.0	708.3	0.0	10.0	718.3	0.5	0.22	7.20	18.00
Casa motorista	19	720.0 840.0	720.0	0.0	102.0	822.0	1.7	0.80	8.02	19.00
Nilza Gonçalves Vicente	20	480.0 1080.0	823.8	0.0	10.0	833.8	1.8	0.90	9.06	20.00
José Edezio de Brito	21	480.0 1080.0	836.3	0.0	10.0	846.3	2.5	1.10	10.33	21.00
Bar Restaurante Comida Caseira	22	480.0 1080.0	851.3	0.0	10.0	861.3	5.0	4.51	14.83	22.00
José M Rodrigues Souza	23	480.0 1080.0	863.3	0.0	10.0	873.3	2.0	1.00	15.93	23.00
Pedro Iembo	24	480.0 1080.0	873.6	0.0	10.0	883.6	0.3	0.13	16.08	24.00
Oliveira e Silva	25	480.0 1080.0	883.9	0.0	10.0	893.9	0.3	0.13	16.23	25.00
Paschoal Cruz	26	480.0 1080.0	894.6	0.0	10.0	904.6	0.7	0.30	16.52	26.00
Israel Martins Santos	27	480.0 1080.0	905.6	0.0	10.0	915.6	1.0	0.53	16.94	27.00
Massas e frios Vieira	28	480.0 1080.0	916.0	0.0	10.0	926.0	0.4	0.20	17.14	28.00
Evan Fernando Aguiar	29	480.0 1080.0	926.1	0.0	10.0	936.1	0.1	0.07	17.23	29.00
Rita de Cássia Nogueira	30	480.0 1080.0	936.7	0.0	10.0	946.7	0.5	0.30	17.46	30.00
José Moreira dos Santos	31	480.0 1080.0	947.5	0.0	10.0	957.5	0.8	0.41	17.79	31.00
Moreira e Roginski	32	480.0 1080.0	958.3	0.0	10.0	968.3	0.8	0.40	18.11	32.00
Fazenda Sta. Maria	34	840.0 1080.0	991.1	0.0	10.0	1001.1	8.6	11.00	26.06	34.00
Vilma M Borges	33	480.0 1080.0	972.5	0.0	10.0	982.5	4.2	8.50	36.82	33.00
Deposito	35	420.0 1020.0	1014.3				13.2	2.70	39.41	
Total					428.0		58.5	40.32		

RELATÓRIO DE SAÍDA FORNECIDO PELO TransCAD PARA ENTREGAS DA SEGUNDA-FEIRA NA ÁREA 7 (VEH_TYPE: MB 608)

CLIENTE	Seqüência	Intervalo de atendimento		horário de	tempo de	tempo de	horário de	tempo de	Percurso	Distância	Carga
		início	fim	chegada	Espera	serviço	partida	viagem		total	total
Depósito	0	420.0	1020.0				603.5			0.00	0.0
Marco Antônio Manzini	1	480.0	1080.0	607.9	0.0	10.0	617.9	4.4	2.05	2.05	1.0
Alfred Restaurante Ltda.	2	480.0	1080.0	618.5	0.0	10.0	628.5	0.7	0.30	2.35	2.0
São Carlos Paes E Doces	3	480.0	1080.0	628.7	0.0	10.0	638.7	0.2	0.09	2.45	3.0
Elisabeth Aparecida Vello	4	480.0	1080.0	639.0	0.0	10.0	649.0	0.2	0.12	2.56	4.0
Azouri Plaza	5	480.0	1080.0	649.2	0.0	10.0	659.2	0.2	0.10	2.66	5.0
Churrascaria Valter	6	480.0	1080.0	660.1	0.0	10.0	670.1	0.9	0.41	3.07	6.0
Paiutta & Cia	7	480.0	1080.0	670.9	0.0	10.0	680.9	0.8	0.38	3.46	7.0
Dalzira Rodrigues Dias	8	480.0	1080.0	681.5	0.0	10.0	691.5	0.7	0.31	3.76	8.0
Episkobar Lanches Ltda.	9	480.0	1080.0	692.4	0.0	10.0	702.4	0.8	0.38	4.15	9.0
Ribeiro E Silva Ltda.	10	480.0	1080.0	704.9	0.0	10.0	714.9	2.6	1.20	5.35	10.0
Café Elite	11	480.0	1080.0	717.7	0.0	10.0	727.7	2.8	1.32	6.66	11.0
Shopping Center C D Petro	12	480.0	1080.0	732.5	0.0	10.0	742.5	4.7	2.21	8.87	19.0
Mikio Sugui Cia Ltda.	13	480.0	1080.0	746.9	0.0	10.0	756.9	4.4	2.05	10.92	164.0
Casa Do Motorista (Joel)	14	720.0	840.0	763.5	0.0	120.0	883.5	6.7	3.11	14.04	165.0
Duarte E Borges Ltda.	15	480.0	1080.0	890.0	0.0	10.0	900.0	6.5	3.01	17.04	166.0
Girlei Carlos Vicente	16	900.0	1080.0	900.0	0.0	10.0	910.0	0.0	0.10	17.14	167.0
Italiano & Guideni Ltda.	17	480.0	1080.0	923.6	0.0	10.0	933.6	13.6	0.31	17.45	168.0
Depósito	18	420.0	1020.0	937.1		0.0		3.6	1.74	19.19	
Total									19.19		

RELATÓRIO DE SAÍDA FORNECIDO PELO TransCAD PARA ENTREGAS DA TERÇA-FEIRA NA ÁREA 1 (VEH_TYPE: MB. 608)

CLIENTE	Seqüência	Intervalo de atendimento		horário de	tempo de	tempo de	horário de	tempo de	Percurso	Distância	carga
		início	fim	chegada	Espera	serviço	partida	viagem		total	total
Depósito	0	420.0	1020.0				650.8			0.00	0.0
Maris Bar	1	480.0	1080.0	659.8	0.0	10.0	669.8	9.0	4.50	4.50	1.0
Struziato E Simões	2	480.0	1080.0	670.8	0.0	10.0	680.8	1.0	0.50	4.98	2.0
João Aparecido Pazini	3	480.0	1080.0	681.4	0.0	10.0	691.4	0.6	0.30	5.26	3.0
Guerino Fracanso	4	480.0	1080.0	692.6	0.0	10.0	702.6	1.2	0.55	5.81	4.0
Cleusa Aparecida Struziat	5	480.0	1080.0	704.3	0.0	10.0	714.3	1.7	0.80	6.61	5.0
Casa Motorista	6	720.0	780.0	720.0	0.0	120.0	840.0	5.7	2.80	9.41	6.0
Tereza Cortez Nunes	7	480.0	1080.0	846.0	0.0	10.0	856.0	6.0	3.32	12.73	7.0
Antônio Luiz Braga	8	480.0	1080.0	856.7	0.0	10.0	866.7	0.7	0.35	13.08	8.0
Zagueti & Zagueti	9	480.0	1080.0	866.9	0.0	10.0	876.9	0.2	0.10	13.16	9.0
Jamir Antônio Biscalhin	10	480.0	1080.0	878.2	0.0	10.0	888.2	1.3	0.61	13.77	10.0
Mazari & Gallo	11	480.0	1080.0	889.1	0.0	10.0	899.1	0.9	0.42	14.19	11.0
Otávio Zago	12	480.0	1080.0	899.5	0.0	10.0	909.5	0.4	0.20	14.37	12.0
Marini & Marini São Carlos	13	480.0	1080.0	909.7	0.0	10.0	919.7	0.2	0.10	14.46	13.0
Carlos Alberto Fragante	14	480.0	1080.0	919.9	0.0	10.0	929.9	0.2	0.10	14.56	14.0
Cogeb I	15	480.0	1080.0	933.6	0.0	10.0	943.6	3.7	1.71	16.30	15.0
Deposito	16	420.0	1020.0	945.8		10.0		2.2	1.02	17.32	
Total						270.0		35.0	17.38		

RELATÓRIO DE SAÍDA FORNECIDO PELO TransCAD PARA ENTREGAS DA TERÇA-FEIRA NA ÁREA 3 (VEH_TYPE: VOLKS 7000KG)

CLIENTE	Seqüência	Intervalo de atendimento		horário de chegada	tempo de Espera	tempo de serviço	horário de partida	tempo de viagem	Percurso total	Distância total	carga total
		início	fim								
Deposito Lumar	0	420.0	1020.0				477.0			0.00	0.0
Maurani Mauricio Marques	1	480.0	1080.0	480.0	0.0	10.0	490.0	3.0	1.38	1.38	1.0
Hotel Indaia	2	480.0	1080.0	491.7	0.0	10.0	501.7	1.7	0.77	2.15	2.0
Bottani E Cia	3	480.0	1080.0	504.5	0.0	10.0	514.5	2.9	1.37	3.52	3.0
José Carlos Veltrone	4	480.0	1080.0	519.6	0.0	10.0	529.6	5.0	2.34	5.86	4.0
Sônia Fernandes Pinheiro	5	480.0	1080.0	530.2	0.0	10.0	540.2	0.6	0.29	6.14	5.0
Marco Angelo Vizzoto	6	480.0	1080.0	541.2	0.0	10.0	551.2	1.0	0.46	6.60	6.0
Orlanda Marques Ferreira	7	480.0	1080.0	551.7	0.0	10.0	561.7	0.6	0.26	6.86	7.0
Vilma M Borges	8	480.0	1080.0	563.4	0.0	10.0	573.4	1.7	0.82	7.69	8.0
Marlene I Vendrasco	9	480.0	1080.0	576.2	0.0	10.0	586.2	2.8	1.49	9.18	9.0
José Alpoim Almeida Mello	10	480.0	1080.0	586.8	0.0	10.0	596.8	0.7	0.31	9.49	10.0
Carvalho E Carvalho	11	480.0	1080.0	597.3	0.0	10.0	607.3	0.4	0.19	9.68	11.0
Churrascaria Tabajara	12	480.0	1080.0	608.8	0.0	10.0	618.8	1.5	0.72	10.39	12.0
Renato Barbosa	13	480.0	1080.0	619.2	0.0	10.0	629.2	0.4	0.20	10.59	13.0
Valdir Torres Cia	14	480.0	1080.0	630.1	0.0	10.0	640.1	0.9	0.41	11.00	14.0
Adriano Gomes Dias	15	480.0	1080.0	641.5	0.0	10.0	651.5	1.4	0.65	11.65	15.0
Pila E Campos	16	480.0	1080.0	651.9	0.0	10.0	661.9	0.4	0.20	11.85	16.0
Agostinho Matioli	17	480.0	1080.0	663.6	0.0	10.0	673.6	1.6	0.77	12.62	17.0
Eugênio Depetri Junior	18	480.0	1080.0	674.4	0.0	10.0	684.4	0.9	0.40	13.02	18.0
Carmelia Maria Souza	19	480.0	1080.0	691.8	0.0	10.0	701.8	7.4	3.74	16.75	19.0
Antoniazzi And Antoniazzi	20	480.0	1080.0	708.4	0.0	10.0	718.4	6.6	3.07	19.82	20.0
Casa Motorista 3	21	720.0	840.0	723.4	0.0	10.0	733.4	5.1	2.36	22.19	21.0
Carlos Dos Santos Macedo	22	480.0	1080.0	738.4	0.0	10.0	748.4	4.9	2.79	24.97	22.0
Valdir Cristinelli	23	480.0	1080.0	748.7	0.0	10.0	758.7	0.3	0.15	25.12	23.0
J Garcia E Garcia	24	480.0	1080.0	759.6	0.0	10.0	769.6	0.9	0.43	25.56	24.0
Ivan Leão Siqueira	25	480.0	1080.0	770.1	0.0	10.0	780.1	0.5	0.21	25.77	25.0
Marlene Vieira Da Silva	26	480.0	1080.0	780.7	0.0	10.0	790.7	0.6	0.27	26.04	26.0
Emilio Blanco 1336	27	480.0	1080.0	791.9	0.0	10.0	801.9	1.2	0.56	26.61	27.0
Antônio Paula Silva	28	480.0	1080.0	802.0	0.0	10.0	812.0	0.1	0.07	26.67	28.0
Natalino A Freitas	29	480.0	1080.0	812.3	0.0	10.0	822.3	0.3	0.13	26.80	29.0
Nílce Nunes De Siqueira	30	480.0	1080.0	823.0	0.0	10.0	833.0	0.7	0.34	27.15	30.0
Antônio C Cabral	31	480.0	1080.0	833.9	0.0	10.0	843.9	0.9	0.41	27.56	31.0
Otávio J Corrêa	32	480.0	1080.0	845.4	0.0	10.0	855.4	1.4	0.67	28.23	32.0
Deposito Lumar	33	420.0	1020.0	855.7				0.4	0.17	28.40	0
TOTAL									28.400		

RELATÓRIO DE SAÍDA FORNECIDO PELO TransCAD PARA ENTREGAS DA TERÇA-FEIRA NA ÁREA 7 (VEH_TYPE: VOLKS 7000KG)

CLIENTE	Seqüência	Intervalo de atendimento início fim	horário de chegada	tempo de Espera	tempo de serviço	horário de partida	tempo de viagem	Percurso	Distância total	carga total
Deposito	0	420.0 1020.0			0.0	617.3			0.00	0.00
Barra e Sciasci Ltda.	1	480.0 1080.0	621.5	0.0	10.0	631.5	4.2	1.96	1.96	1.00
Zhu Xihuan	2	480.0 1080.0	631.9	0.0	10.0	641.9	0.4	0.25	2.16	2.00
José AP Cabral	3	480.0 1080.0	643.8	0.0	10.0	653.8	1.9	0.88	3.04	3.00
Raimundo nonato Martins	4	480.0 1080.0	655.0	0.0	10.0	665.0	1.2	0.56	3.60	4.00
Antônio c nonato	5	480.0 1080.0	665.2	0.0	10.0	675.2	0.2	0.10	3.70	5.00
Nelson Zanella	6	480.0 1080.0	675.9	0.0	10.0	685.9	0.7	0.33	4.04	6.00
Luis a Gianlourengo me	7	480.0 1080.0	686.1	0.0	10.0	696.1	0.2	0.10	4.14	7.00
Pastelaria episcopal Ltda.	8	480.0 1080.0	696.2	0.0	10.0	706.2	0.1	0.04	4.18	8.00
Casa do motorista (Alemao)	9	720.0 840.0	720.0	0.0	120.0	840.0	13.8	6.43	10.61	9.00
Zenatti e Caridade Ltda.	10	480.0 1080.0	851.3	0.0	10.0	861.3	11.3	5.26	15.87	10.00
Edemir Carlos Moreli	11	480.0 1080.0	861.3	0.0	10.0	871.3	0.0	0.00	15.87	11.00
Chen Yan Yun s Carlos	12	480.0 1080.0	871.3	0.0	10.0	881.3	0.0	0.00	15.87	12.00
Carlos César Domingues	13	480.0 1080.0	881.5	0.0	10.0	891.5	0.2	0.10	15.97	13.00
Rest e lanchonete Roma s/c	14	480.0 1080.0	891.6	0.0	10.0	901.6	0.1	0.04	16.01	14.00
Cunha & Colin Ltda.	15	480.0 1080.0	901.6	0.0	10.0	911.6	0.0	0.00	16.01	15.00
José Tarcísio Alves	16	480.0 1080.0	911.9	0.0	10.0	921.9	0.3	0.14	16.14	16.00
José Pizaneli me	17	480.0 1080.0	922.3	0.0	10.0	932.3	0.5	0.21	16.36	17.00
Mauro Cerri Jr.	18	480.0 1080.0	933.0	0.0	10.0	943.0	0.7	0.31	16.67	18.00
Valentim AP Pallaci	19	480.0 1080.0	943.8	0.0	10.0	953.8	0.9	0.40	17.07	19.00
Jeferson Mello	20	480.0 1080.0	954.8	0.0	10.0	964.8	0.9	0.42	17.49	20.00
Orlando y kaibara	21	480.0 1080.0	965.1	0.0	10.0	975.1	0.3	0.15	17.65	21.00
Shopping Center c d Petrol	22	480.0 1080.0	977.2	0.0	10.0	987.2	2.1	0.99	18.64	22.00
Mikio Sugui cia Ltda.	23	480.0 1080.0	991.6	0.0	10.0	1001.6	4.4	2.06	20.70	23.00
Almeida carvalho	24	480.0 1080.0	1001.8	0.0	10.0	1011.8	0.2	0.10	20.80	24.00
Deposito	25	420.0 1020.0	1016.3				4.4	2.07	22.87	
Total					350.0		49.0	22.90		

RELATÓRIO DE SAÍDA FORNECIDO PELO TransCAD PARA A PROPOSTA DE ENTREGAS DA QUARTA-FEIRA NA ÁREA 1 (VEH_TYPE: MB.608)

CLIENTE	Seqüência	Intervalo de arrendimento início fim	horário de chegada	tempo de Espera	tempo de serviço	horário de partida	tempo de viagem	Percurso	Distância total	carga Total
DEPOSITO	0	420.0 1020.0			0.0	481.8			0.00	0.00
GERALDO F SANTOS	1	480.0 1080.0	484.0	0.0	10.0	494.0	2.2	1.05	1.05	1.00
JOVAIR MUNSIGNATTI	2	480.0 1080.0	495.2	0.0	10.0	505.2	1.1	0.52	1.57	2.00
JOSE ARAUJO PEREIRA	3	480.0 1080.0	509.7	0.0	10.0	519.7	4.5	2.34	3.91	3.00
EMILIO FERRATI	4	480.0 1080.0	527.6	0.0	10.0	537.6	7.9	3.68	7.59	4.00
SILVA E CANTI	5	480.0 1080.0	537.8	0.0	10.0	547.8	0.2	0.10	7.69	5.00
MARIA AP RODRIGUES	6	480.0 1080.0	548.6	0.0	10.0	558.6	0.9	0.41	8.10	6.00
SERGIO CARLOS MELLO	7	480.0 1080.0	558.9	0.0	10.0	568.9	0.3	0.13	8.23	7.00
ANTONIO CAVAGLIERI	8	480.0 1080.0	570.3	0.0	10.0	580.3	1.4	0.63	8.86	8.00
IL GARCIA	9	480.0 1080.0	580.8	0.0	10.0	590.8	0.5	0.18	9.04	9.00
BAR MERC COSTA DO SOL	10	480.0 1080.0	591.4	0.0	10.0	601.4	0.6	0.27	9.31	10.00
AUTO POSTO ESTANCIA SUICA	11	480.0 1080.0	601.9	0.0	10.0	611.9	0.5	0.25	9.56	11.00
ANTONIO C CABRAL	12	480.0 1080.0	613.2	0.0	10.0	623.2	1.2	0.58	10.14	12.00
SIDNEI AP MANGERONA	13	480.0 1080.0	624.6	0.0	10.0	634.6	1.5	0.69	10.83	13.00
JULIO M DE SANTI	14	480.0 1080.0	639.9	0.0	10.0	649.9	5.2	2.44	13.27	14.00
PANIF DON GIUSEPE DE S. C.	15	480.0 1080.0	650.7	0.0	10.0	660.7	0.9	0.41	13.68	15.00
ELIZABETTI IZIDORIO SILVA	16	480.0 1080.0	661.2	0.0	10.0	671.2	0.4	0.21	13.89	16.00
PETROMILLI PIOVESANBARENE	17	480.0 1080.0	672.1	0.0	10.0	682.1	0.9	0.33	14.22	17.00
MECCA & MECCA	18	480.0 1080.0	682.9	0.0	10.0	692.9	0.9	0.41	14.63	18.00
PADARIA CONF PAVANI	19	480.0 1080.0	693.1	0.0	10.0	703.1	0.2	0.10	14.73	19.00
MARCIA PEREIRA SAO CARLOS	20	480.0 1080.0	703.4	0.0	10.0	713.4	0.2	0.11	14.84	20.00
CASA MOTORISTA 1	21	720.0 780.0	720.0	0.0	120.0	840.0	6.6	3.09	17.93	21.00
J N CARRARA	22	480.0 1080.0	845.0	0.0	10.0	855.0	5.0	2.32	20.25	22.00
RAFAEL OSVALDO RECHIA	23	480.0 1080.0	857.6	0.0	10.0	867.6	2.6	1.24	21.49	23.00
SPOSITO & SPOSITO	24	480.0 1080.0	875.3	0.0	10.0	885.3	7.7	3.59	25.08	24.00
ARIOVALDO COLOCA	25	480.0 1080.0	892.0	0.0	10.0	902.0	6.7	3.12	28.20	25.00
JOAO LUIZ FERREIRA	26	840.0 1080.0	904.4	0.0	10.0	914.4	2.4	1.13	29.33	26.00
DEPOSITO	27	420.0 1020.0	916.6				2.2	1.03	30.36	
Total					370.0		64.7	30.36		

RELATÓRIO DE SAÍDA FORNECIDO PELO TransCAD PARA ENTREGAS DA QUARTA-FEIRA NA ÁREA 3 (VEH_TYPE: VOLKS 7.000KG)

CLIENTE	Seqüência	Intervalo de atendimento		horário de	tempo de	tempo de	horário de	tempo de	Percurso	Distância	carga
		início	fim	chegada	Espera	serviço	partida	viagem		total	total
Deposito Lumar	0	420.0	1020.0			0.0	497.7			0.00	0.00
Benedito Domingues Amaral	1	480.0	1080.0	502.5	0.0	10.0	512.5	4.9	2.50	2.27	1.00
Fca G de o São Carlos	2	480.0	1080.0	517.2	0.0	10.0	527.2	4.7	2.80	4.47	2.00
Odalete Martins	3	480.0	1080.0	527.9	0.0	10.0	537.9	0.7	0.32	4.79	3.00
Beccos s Restaurante	4	480.0	1080.0	540.4	0.0	10.0	550.4	2.4	1.15	5.93	4.00
Bertoffer Comercio e Generos	5	480.0	1080.0	550.8	0.0	10.0	560.8	0.5	0.21	6.14	5.00
Salão de Festas Sta Casa	6	480.0	1080.0	561.9	0.0	10.0	571.9	1.1	0.50	6.64	6.00
Mercantil Derivados de Pet	7	480.0	1080.0	572.3	0.0	10.0	582.3	0.4	0.20	6.82	7.00
Petroshopping	8	480.0	1080.0	587.3	0.0	10.0	597.3	5.1	2.75	9.27	8.00
Keiton Aniceto	9	480.0	1080.0	598.6	0.0	10.0	608.6	1.3	0.60	9.87	9.00
Florêncio Vieira	10	480.0	1080.0	610.3	0.0	10.0	620.3	1.7	0.80	10.67	10.00
Auto Posto Flamboyant	11	480.0	1080.0	620.9	0.0	10.0	630.9	0.5	0.25	10.91	11.00
Carvalho e Carvalho	12	480.0	1080.0	631.5	0.0	10.0	641.5	0.7	0.30	11.23	12.00
Marco Angelo Vizzoto	13	480.0	1080.0	642.5	0.0	10.0	652.5	0.9	0.40	11.66	13.00
Padaria e Conf. Multi	14	480.0	1080.0	652.7	0.0	10.0	662.7	0.3	0.10	11.78	14.00
Vitor Hugo Bonfim	15	480.0	1080.0	665.9	0.0	10.0	675.9	3.1	1.54	13.25	15.00
Jones Paiz	16	480.0	1080.0	679.2	0.0	10.0	689.2	3.3	1.83	14.78	16.00
Samuel a b Benedito	17	480.0	1080.0	689.9	0.0	10.0	699.9	0.7	0.34	15.13	17.00
Maria Aparecida Barbosa Faria	18	480.0	1080.0	700.5	0.0	10.0	710.5	0.6	0.31	15.39	18.00
Casa Motorista 3	19	720.0	840.0	720.0	0.0	120.0	840.0	9.5	4.45	19.84	19.00
Deposito Lumar	20	420.0	1020.0	846.8				6.8	3.70	23.49	
Total						300.0		49.2	25.05	214.33	

RELATÓRIO DE SAÍDA FORNECIDO PELO TransCAD PARA ENTREGAS DA QUARTA-FEIRA NA ÁREA 7 (VEH_TYPE: MB 608)

CLIENTE	Seqüência	Intervalo de atendimento		horário de chegada	tempo de Espera	tempo de serviço	horário de Partida	tempo de viagem	Percurso	Distância total	carga total
		início	fim								
Depósito	0	420.0	1020.0				549.5			0.00	0.0
Italiano & Guideni Ltda.	1	480.0	1080.0	552.9	0.0	10.0	562.9	3.3	1.55	1.55	1.0
Alfred Restaurante Ltda.	2	480.0	1080.0	563.8	0.0	10.0	573.8	0.9	0.41	1.96	2.0
Elisabeth Aparecida Vello	3	480.0	1080.0	574.2	0.0	10.0	584.2	0.4	0.21	2.17	3.0
Azouri Plaza	4	480.0	1080.0	584.4	0.0	10.0	594.4	0.2	0.10	2.27	4.0
Mário Rocha	5	480.0	1080.0	595.3	0.0	10.0	605.3	0.9	0.41	2.68	5.0
Márcia Helena Marques Dot	6	480.0	1080.0	606.0	0.0	10.0	616.0	0.7	0.31	2.99	6.0
Osnir Luis da Silva	7	480.0	1080.0	616.6	0.0	10.0	626.6	0.6	0.30	3.29	7.0
Churrascaria Valter	8	480.0	1080.0	627.7	0.0	10.0	637.7	1.1	0.53	3.82	8.0
Mundo e Perre Ltda.	9	480.0	1080.0	637.9	0.0	10.0	647.9	0.2	0.09	3.91	9.0
Paiutta & cia	10	480.0	1080.0	648.7	0.0	10.0	658.7	0.8	0.38	4.29	10.0
Episkobar lanches Ltda.	11	480.0	1080.0	659.4	0.0	10.0	669.4	0.7	0.31	4.60	11.0
Favorito e Armando Ltda.	12	480.0	1080.0	670.3	0.0	10.0	680.3	0.9	0.43	5.03	12.0
Sérgio Carlos Dellantonia	13	480.0	1080.0	681.8	0.0	10.0	691.8	1.5	0.69	5.72	13.0
Dalzira Rodrigues Dias	14	480.0	1080.0	693.1	0.0	10.0	703.1	1.3	0.62	6.34	14.0
Marco Antônio Manzini	15	480.0	1080.0	703.8	0.0	10.0	713.8	0.6	0.30	6.63	15.0
Casa do Motorista (Joel)	16	720.0	840.0	720.0	0.0	120.0	840.0	6.2	2.91	9.55	16.0
Depósito	17	420.0	1020.0	842.3		0.0		2.3	1.05	10.60	
Total						270.0		22.6	10.60		

ANEXO F

ANEXO F

Distribuição de Frequências – Distâncias estimadas nos percursos de segunda-feira

Média amostral $\bar{x} = \text{soma } (f_i \cdot x_i)/(n-1) =$	1.20
Variância amostral $V(\bar{x}) = f_i (x_i - \bar{x})^2/n-1$	2.42
$=$	
Desvio Padrão $S^2 =$	1.56

Distâncias	x_i	f_i	fix_i	fix_i/n	$f_i \text{ rel.}(\%)$	$f_i \text{ acum.}(\%)$	fix_i^2	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i(x_i - \bar{x})^2$
0.00 a 1.2	0.60	61	36.60	0.48	78.21	78.21	1339.56	-0.60	0.36	21.96
1.2 a 2.4	1.80	9	16.20	0.21	11.54	89.74	262.44	0.60	0.36	3.24
2.4 a 3.6	3.00	3	9.00	0.12	3.85	93.59	81.00	1.80	3.24	9.72
3.6 a 4.8	4.20	3	12.60	0.16	3.85	97.44	158.76	3.00	9.00	27.00
4.8 a 6.0	5.40	0	0.00	0.00	0.00	97.44	0.00	4.20	17.64	0.00
6.0 a 7.2	6.60	0	0.00	0.00	0.00	97.44	0.00	5.40	29.16	0.00
7.2 a 8.4	7.80	1	7.80	0.10	1.28	98.72	60.84	6.60	43.56	43.56
8.4 a 9.6	9.00	0	0.00	0.00	0.00	98.72	0.00	7.80	60.84	0.00
9.6 a 10.8	10.20	1	10.20	0.13	1.28	100.00	104.04	9.00	81.00	81.00
10.8 a 12	11.40	0	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	10.20	104.04	0.00
Total		78	92.40	1.20	100.00					186.48

ANEXO F

Distribuição de Frequências – Distâncias estimadas nos percursos de terça-feira

Média amostral = soma (fi xi)/(n-1) = 1.19
 Variância amostral V () = fi (xi -)²/n-1= 0.98
 Desvio Padrão S= 0.99

Distâncias	xi	fi(abs)	fixi	fixi/n-1	fi rel.(%)	fi acum.(%)	fixi ²	(xi - $\bar{x}$)	(xi-) ²	fi(xi-) ²
0.00 a 0.7	0.7	49	34.3	0.469863	66.21622	66.216216	1176.49	-0.49	0.244	11.95
0.7 a 1.4	1.05	9	9.45	0.129452	12.16216	78.378378	89.3025	-0.14	0.021	0.1862
1.4 a 2.1	1.75	7	12.25	0.167808	9.459459	87.837838	150.0625	0.556	0.309	2.1652
2.1 a 2.8	2.45	3	7.35	0.100685	4.054054	91.891892	54.0225	1.256	1.578	4.7338
2.8 a 3.5	3.15	3	9.45	0.129452	4.054054	95.945946	89.3025	1.956	3.827	11.48
3.5 a 4.2	3.85	1	3.85	0.05274	1.351351	97.297297	14.8225	2.656	7.055	7.0552
4.2 a 4.9	4.55	1	4.55	0.062329	1.351351	98.648649	20.7025	3.356	11.26	11.264
4.9 a 5.6	5.25	0	0	0	0	98.648649	0	4.056	16.45	0
5.6 a 6.3	5.95	1	5.95	0.081507	1.351351	100	35.4025	4.756	22.62	22.621
Total	28.7		74	1.193836	100		1630.108			71.455

ANEXO F

Distribuição de Frequências – Distâncias estimadas para os percursos de quarta-feira

Média amostral $\bar{x} = \text{soma}(f_i x_i)/(n-1) =$ 1.20

Variância amostral $V(\bar{x}) = f_i (x_i - \bar{x})^2/n-1$ 0.93

=
Desvio Padrão $S^2 =$ 0.96

Distâncias	x_i	$f_i(\text{abs})$	fix_i	$fix_i/(n-1)$	$f_i \text{ rel.}(\%)$	$f_i \text{ cum.}(\%)$	fix_i^2	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$	$f_i(x_i - \bar{x})^2$
0.00 a 0.6	0.60	38	23	0.36	58.46	58.46	519.84	-0.60	0.35	13.47
0.6 a 1.2	0.90	9	8	0.13	13.85	72.31	65.61	-0.30	0.09	0.78
1.2 a 1.8	1.50	4	6	0.09	6.15	78.46	36.00	0.30	0.09	0.37
1.8 a 2.4	2.10	5	11	0.16	7.69	86.15	110.25	0.90	0.82	4.09
2.4 a 3.0	2.70	4	11	0.17	6.15	92.31	116.64	1.50	2.26	9.06
3.0 a 3.6	3.30	3	10	0.15	4.62	96.92	98.01	2.10	4.43	13.29
3.6 a 4.2	3.90	1	4	0.06	1.54	98.46	15.21	2.70	7.32	7.32
4.2 a 4.8	4.50	1	5	0.07	1.54	100.00	20.25	3.30	10.92	10.92
Total		65	77	1.20	100.00		981.81		26.28	59.30

ANEXO F

Distribuição de Frequências – Distâncias em rede para os percursos de segunda-feira

Média amostral $\bar{x} = \text{soma}(f_i x_i)/(n-1) =$ 1.25

Variância amostral $V(\bar{x}) = f_i (x_i - \bar{x})^2/n-1$ 2.94

=
Desvio Padrão $S^2 =$ 1.72

Distâncias	xi	fi	fixi	fixi/(n-1)	fi rel.(%)	fi acum.(%)	fixi ²	(xi - $\bar{x}$)	(xi - $\bar{x}$) ²	fi(xi - $\bar{x}$) ²
0.00 a 1.2	0.60	60	36.00	0.46	76.92	76.92	1296.00	-0.63	0.40	23.87
1.2 a 2.4	1.80	10	18.00	0.23	12.82	89.74	324.00	0.57	0.32	3.24
2.4 a 3.6	3.00	3	9.00	0.12	3.85	93.59	81.00	1.77	3.13	9.39
3.6 a 4.8	4.20	3	12.60	0.16	3.85	97.44	158.76	2.97	8.82	26.45
4.8 a 6.0	5.40	0	0.00	0.00	0.00	97.44	0.00	4.17	17.38	0.00
6.0 a 7.2	6.60	0	0.00	0.00	0.00	97.44	0.00	5.37	28.83	0.00
7.2 a 8.4	7.80	0	0.00	0.00	0.00	97.44	0.00	6.57	43.15	0.00
8.4 a 9.6	9.00	1	9.00	0.12	1.28	98.72	81.00	7.77	60.36	60.36
9.6 a 10.8	10.20	0	0.00	0.00	0.00	98.72	0.00	8.97	80.45	0.00
10.8 a 12	11.40	1	11.40	0.15	1.28	100.00	129.96	10.17	103.41	103.41
Total		78	96.00	1.25	100.00		2070.72			226.73

ANEXO F

Distribuição de Frequências – Distâncias em rede para os percursos de terça-feira

Média amostral $\bar{x} = \text{soma } (f_i x_i) / (n-1) =$ 1.25

Variância amostral $V(\bar{x}) = f_i (x_i - \bar{x})^2 / n-1$ 1.31

=
Desvio Padrão $S^2 =$ 1.14

Distâncias	xi	fi(abs)	fixi	fixi/n	fi rel.(%)	fi acum.(%)	fixi2	(xi -)	(xi-)2	fi(xi-)2
0.00 a 0.7	0.7	49	34.3	0.47	66.22	66.22	1176.49	-0.55	0.30	14.90
0.7 a 1.4	1.05	10	10.5	0.14	13.51	79.73	110.25	-0.20	0.04	0.41
1.4 a 2.1	1.75	4	7	0.10	5.41	85.14	49.00	0.50	0.25	0.99
2.1 a 2.8	2.45	4	9.8	0.13	5.41	90.54	96.04	1.20	1.44	5.75
2.8 a 3.5	3.15	3	9.45	0.13	4.05	94.59	89.30	1.90	3.60	10.81
3.5 a 4.2	3.85	1	3.85	0.05	1.35	95.95	14.82	2.60	6.75	6.75
4.2 a 4.9	4.55	1	4.55	0.06	1.35	97.30	20.70	3.30	10.88	10.88
4.9 a 5.6	5.25	1	5.25	0.07	1.35	98.65	27.56	4.00	15.99	15.99
5.6 a 6.3	5.95	0	0	0.00	0.00	98.65	0.00	4.70	22.08	0.00
6.3 a 7	6.65	1	6.65	0.09	1.35	100.00	44.22	5.40	29.15	29.15
Total		74	91.35	1.25	100.00		1628.39			95.63

ANEXO F

Distribuição de Frequências – Distâncias em rede para os percursos de Quarta-feira

Média amostral = soma (fi xi)/(n-1) = 1.19
 Variância amostral $V(\bar{X}) = \text{fi} (xi - \bar{x})^2 / n-1 = 2.42$
 Desvio Padrão $S^2 = 1.56$

Distâncias	xi	fi(abs)	fixi	fixi/(n-1)	fi rel.(%)	fi acum.(%)	fixi2	(xi - $\bar{x}$)	(xi - $\bar{x}$) ²	fi(xi - $\bar{x}$) ²
0.00 a 0.6	0.6	37	22.2	0.34	56.92	56.92	492.84	-0.59	0.35	12.92
0.6 a 1.2	0.9	11	9.9	0.15	16.92	73.85	98.01	-0.29	0.08	0.93
1.2 a 1.8	1.5	3	4.5	0.07	4.62	78.46	20.25	0.31	0.10	0.29
1.8 a 2.4	2.1	3	6.3	0.10	4.62	83.08	39.69	0.91	0.83	2.48
2.4 a 3.0	2.7	5	13.5	0.20	7.69	90.77	182.25	1.51	2.28	11.39
3.0 a 3.6	3.3	3	9.9	0.15	4.62	95.38	98.01	2.11	4.45	13.34
3.6 a 4.2	3.9	2	7.8	0.12	3.08	98.46	60.84	2.71	7.34	14.68
4.2 a 4.8	4.5	1	4.5	0.07	1.54	100.00	20.25	3.31	10.95	10.95
Total		65	78.6	1.19	100.00		1012.14			66.98

ANEXO G

AGROPAMENTO 1 - SEMENTES CALCULADAS COM BASE NAS DISTÂNCIAS ESTIMADAS

NOME	Rota	Demanda (KG)	Semente	Custo viagem
Casa Motorista (Ari)	1	0.00	1	1.58
Valentim Ap Pallaci	7	20.00	1	2.18
Shopping Center e D Petrol	7	8.00	1	2.18
Jeferson Mello	7	58.00	1	0.84
Mikio Sugui Cia LTDA	7	145.00	1	0.84
Orlando y Kaibara	7	284.00	1	0.74
Almeida Carvalho	7	75.00	1	0.74
Barra e Sciasci LTDA	7	65.00	1	0.82
Zhu Xihuan	7	23.00	1	0.71
Hotel Indaia	3	10.00	1	0.39
Adriano Gomes Dias	3	71.00	1	0.19
Maurani Mauricio Marques	3	264.00	1	0.00
Bottani e Cia	3	160.00	1	1.25
Renato Barbosa	3	73.00	1	0.33
Churrascaria Tabajara	3	726.00	1	0.52
Valdir Torres Cia	3	58.00	1	0.73
Sônia Fernandes Pinheiro	3	78.00	1	1.37
José Ap Cabral	7	116.00	1	1.13
Agostinho Matioli	3	126.00	1	0.54
Pila e Campos	3	245.00	1	0.19
Eugênio de Petri Junior	3	808.00	1	0.78
Carvalho e Carvalho	3	218.00	1	1.23
José Alpoin Almeida Mello	3	78.00	1	1.31
José Carlos Veltrone	3	23.00	1	1.37
Marlene i Vendrasco	3	10.00	1	1.18
Marco Angelo Vizzoto	3	113.00	1	1.44
COGEB I	1	956.00	29	0.99
Orlanda Marques Ferreira	3	63.00	29	1.41
Otávio J Corrêa	3	126.00	29	0.27
Antônio C Cabral	3	68.00	29	0.55
Emilio Blanco 1336	3	160.00	29	0.07
Antônio Paula Silva	3	90.00	29	0.13
Natalino A Freitas	3	40.00	29	0.00
Nilce Nunes de Siqueira	3	15.00	29	0.28
Vilma M Borges	3	359.00	29	1.75

NOME	Rota	Demanda (KG)	Semente	Custo viagem
Antoniazzi and Antoniazzi	3	147.00	29	0.72
Carlos dos Santos Macedo	3	34.00	29	0.81
Valdir Cristinelli	3	8.00	29	0.69
J Garcia e Garcia	3	136.00	29	0.40
Ivan Leão Siqueira	3	58.00	29	0.33
Marlene Vieira da Silva	3	20.00	29	0.42
Casa Motorista (Ivan)	3	0.00	29	2.43
Casa do Motorista (Alemão)	7	0.00	36	3.32
José Tarcisio Alves	7	1024.00	36	1.39
Cunha & Colin Ltda.	7	87.00	36	1.20
Zenatti e Caridade Ltda.	7	19.00	36	1.05
Edemir Carlos Moreli	7	47.00	36	1.12
Pastelaria Episcopal Ltda.	7	51.00	36	1.05
Nelson Zanella	7	290.00	36	1.05
Cleusa Aparecida Struziato	1	33.00	36	0.27
Guerino Fracanso	1	145.00	36	0.00
João Aparecido Pazini	1	28.00	36	0.25
Carmelia Maria Souza	3	78.00	36	0.70
Maris Bar	1	26.00	36	0.70
Jamir Antônio Biscalhin	1	58.00	36	0.00
Struziato e Simões	1	443.00	36	0.22
Otávio Zago	1	148.00	36	0.40
Marini & Marini São Carlos	1	386.00	36	0.41
Carlos Alberto Fragante	1	116.00	36	0.43
Mazari & Gallo	1	39.00	36	0.50
Tereza Cortez Nunes	1	375.00	36	1.07
Antônio Luiz Braga	1	32.00	36	1.40
Zaguetti & Zaguetti	1	20.00	36	1.40
Mauro Cerri Jr	7	26.00	36	1.82
José Pizaneli Me	7	58.00	36	1.69
Rest e Lanchonete Roma s/c	7	1812.00	36	1.41
Carlos César Domingues	7	58.00	36	1.27
Chen Yan Yun S Carlos	7	52.00	36	1.15
Luis A Gianloureco Me	7	148.00	36	1.08
Antônio c Nonato	7	556.00	36	1.12
Raimundo Nonato Martins	7	98.00	36	1.21

ANEXO G - RELATÓRIOS DE ITINERÁRIOS DA PROPOSTA DE ENTREGAS FORNECIDO PELO TRANSCAD

PRAÇA 12 ROTA B - Distâncias euclidianas corrigidas 23/02/1999

Itinerary Report

Tour # : 1 Vehicle Type: 608 Capacity: 4500.0
Tot Time: 5:40 Tot Distance: 20.64 Tot Load: 3484.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Load
	DEPOSITO	- 8:26am		
1	EUGENIO DEPETRI JUNIOR	8:29am- 8:39am	0.99	808.0
2	AGOSTINHO MATIOLI	8:41am- 8:51am	0.52	126.0
3	HOTEL INDAIA	8:53am- 9:03am	1.0	10.0
4	MAURANI MAURICIO MARQUES	9:04am- 9:14am	0.51	264.0
5	ADRIANO GOMES DIAS	9:15am- 9:25am	0.25	71.0
6	PILA E CAMPOS	9:25am- 9:35am	0.26	245.0
7	BOTTANI E CIA	9:39am- 9:49am	1.71	160.0
8	MARLENE I VENDRASCO	9:55am-10:05am	2.26	10.0
9	JOSE ALPOIN ALMEIDA MELLO	10:05am-10:15am	0.27	78.0
10	CARVALHO E CARVALHO	10:16am-10:26am	0.21	218.0
11	CHURRACARIA TABAJARA	10:27am-10:37am	0.93	726.0
12	RENATO BARBOSA	10:38am-10:48am	0.26	73.0
13	VALDIR TORRES CIA	10:49am-10:59am	0.52	58.0
14	SONIA FERNANDES PINHEIRO	11:00am-11:10am	0.84	78.0
15	JOSE CARLOS VELTRONE	11:10am-11:20am	0.22	23.0
16	MARCO ANGELO VIZZOTO	11:21am-11:31am	0.38	113.0
17	ORLANDA MARQUES FERREIRA	11:31am-11:41am	0.27	63.0
18	VILMA M BORGES	11:43am-11:53am	0.96	359.0
19	CASA DO MOTORISTA 3	12:00pm- 2:00pm	4.68	1.0
END	DEPOSITO	2:07pm	3.55	

ANEXO G - RELATÓRIOS DE ITINERÁRIOS DA PROPOSTA DE ENTREGAS FORNECIDO PELO TRANSCAD

PRAÇA 29 ROTA B -Distâncias euclidianas corrigidas 23/02/1999

Itinerary Report

Tour # : 1 Vehicle Type: 608 Capacity: 4500.0

Tot Time: 5:02 Tot Distance: 15.79 Tot Load: 2218.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Load
DEPOSITO		-11:55am		
1	OTAVIO J CORREA	11:56am-12:06pm	0.22	126.0
2	NATALINO A FREITAS	12:07pm-12:17pm	0.35	40.0
3	EMILIO BLANCO 1336	12:17pm-12:27pm	0.09	160.0
4	ANTONIO PAULA SILVA	12:27pm-12:37pm	0.09	90.0
5	ANTONIO C CABRAL	12:38pm-12:48pm	0.63	68.0
6	CASA MOTORISTA 1	1:00pm- 3:00pm	6.09	1.0
7	ALMEIDA CARVALHO	3:07pm- 3:17pm	3.67	75.0
	ORLANDO Y KAIBARA	3:17pm- 3:27pm		284.0
9	COGEB I	3:30pm- 3:40pm	1.87	956.0
10	ANTONIAZZI AND ANTONIAZZI	3:42pm- 3:52pm	0.78	147.0
11	VALDIR CRISTINELLI	3:52pm- 4:02pm	0.27	8.0
12	CARLOS DOS SANTOS MACEDO	4:03pm- 4:13pm	0.16	34.0
13	J GARCIA E GARCIA	4:14pm- 4:24pm	0.61	136.0
14	IVAN LEAO SIQUEIRA	4:25pm- 4:35pm	0.16	58.0
15	MARLENE VIEIRA DA SILVA	4:35pm- 4:45pm	0.51	20.0
16	NILCE NUNES DE SIQUEIRA	4:46pm- 4:56pm	0.45	15.0
END	DEPOSITO	4:58pm	0.51	

ANEXO G - RELATÓRIOS DE ITINERÁRIOS DA PROPOSTA DE ENTREGAS FORNECIDO PELO TRANSCAD

PRAÇA 61 ROTA B - Distâncias euclidianas corrigidas 23/02/1999

Itinerary Report

Tour # : 1 Vehicle Type: 608 Capacity: 7000.0
Tot Time: 8:52 Tot Distance: 28.53 Tot Load: 6948.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Load
DEPOSITO		- 8:00am		
1	BARRA E SCIASCI LTDA	8:04am- 8:14am	2.05	65.0
2	JOSE AP CABRAL	8:15am- 8:25am	0.61	116.0
3	JEFERSON MELLO	8:27am- 8:37am	0.13	58.0
4	ORLANDO Y KAIBARA	8:37am- 8:47am	0.13	284.0
5	MIKIO SUGUI CIA LTDA	8:47am- 8:57am	0.19	145.0
6	RAIMUNDO NONATO MARTINS	8:59am- 9:09am	0.62	98.0
7	ANTONIO C NONATO	9:09am- 9:19am	0.13	556.0
8	NELSON ZANELLA	9:20am- 9:30am	0.12	290.0
9	PASTELARIA EPISCOPAL LTDA	9:30am- 9:40am	0.24	51.0
10	ZENATTI E CARIDADE LTDA	9:41am- 9:51am	0.19	19.0
11	CARLOS CESAR DOMINGUES	9:51am-10:01am	0.30	58.0
12	CUNHA & COLIN LTDA	10:02am-10:12am	0.14	87.0
13	JOSE TARCISIO ALVES	10:12am-10:22am	0.32	1023.0
14	JOSE PIZANELI ME	10:23am-10:33am	0.30	58.0
15	MAURO CERRI JR	10:34am-10:44am	0.19	26.0
16	SHOPPING CENTER C D PETROL	10:46am-10:56am	0.78	8.0
	VALENTIM AP PALLACI	10:56am-11:06am		20.0
18	REST E LANCHONETE ROMA S/C	11:09am-11:19am	1.33	1811.0
19	EDEMIR CARLOS MORELI	11:20am-11:30am	0.29	47.0
20	CHEN YAN YUN S CARLOS	11:30am-11:40am	0.06	52.0
21	LUIS A GIANLOURENCO ME	11:40am-11:50am	0.14	148.0
22	MARIS BAR	11:56am-12:06pm	2.30	26.0

CARMELIA MARIA SOUZA	12:06pm-12:16pm		78.0
24 STRUZIATO E SIMOES	12:17pm-12:27pm	0.48	443.0
25 JOAO APARECIDO PAZINI	12:28pm-12:38pm	0.28	28.0
26 GUERINO FRACANSO	12:39pm-12:49pm	0.55	145.0
27 CLEUSA APARECIDA STRUZIATO	12:51pm- 1:01pm	0.80	33.0
28 CASA DO MOTORISTA (ALEMAO)	1:11pm- 3:11pm	4.90	1.0
29 TEREZA CORTEZ NUNES	3:23pm- 3:33pm	6.05	375.0
30 ANTONIO LUIZ BRAGA	3:33pm- 3:43pm	0.35	32.0
31 ZAGUETTI & ZAGUETTIL	3:43pm- 3:53pm	0.08	20.0
32 JAMIR ANTONIO BISCALHIN	3:55pm- 4:05pm	0.61	58.0
33 MAZARI & GALLO	4:06pm- 4:16pm	0.42	39.0
34 OTAVIO ZAGO	4:16pm- 4:26pm	0.18	148.0
35 MARINI & MARINI SAO CARLOS	4:26pm- 4:36pm	0.09	386.0
36 CARLOS ALBERTO FRAGANTE	4:36pm- 4:46pm	0.10	116.0
END DEPOSITO	4:52pm	2.76	

ANEXO H

AGRUPAMENTO 2 - SEMENTES CALCULADAS COM BASE NO DESLOCAMENTO EM REDE

NOME	Rota	Demanda (KG)	Semente	Custo viagem
Casa Motorista 3	3	0	12	3.29
Hotel Indaia	3	10	12	1.1
Adriano Gomes Dias	3	71	12	0.46
Maurani Maurício Marques	3	264	12	0.73
Bottani E Cia	3	160	12	1.69
Renato Barbosa	3	73	12	0.2
Churrascaria Tabajara	3	726	12	0
Valdir Torres Cia	3	58	12	0.25
Sônia Fernandes Pinheiro	3	78	12	0.89
Agostinho Matioli	3	126	12	1.21
Pila e Campos	3	245	12	0.66
Eugênio Depetri Junior	3	808	12	1.61
Carvalho e Carvalho	3	218	12	0.72
José Alpoin Almeida Mello	3	78	12	0.92
José Carlos Veltrone	3	23	12	0.86
Marlene I Vendrasco	3	10	12	0.88
Marco Angelo Vizzoto	3	113	12	1.15
Orlanda Marques Ferreira	3	63	12	1.28
Vilma M Borges	3	359	12	2.11
Cogeb I	1	956	29	1.86
Otávio J Corrêa	3	126	29	0.35
Antônio C Cabral	3	68	29	0.74
Emilio Blanco 1336	3	160	29	0.07
Antônio Paula Silva	3	90	29	0.13
Natalino A Freitas	3	40	29	0
Nilce Nunes de Siqueira	3	15	29	0.34
Antoniazzi and Antoniazzi	3	147	29	0.92
Carlos dos Santos Macedo	3	34	29	1.5
Valdir Cristinelli	3	8	29	1.18
J Garcia e Garcia	3	136	29	0.74
Ivan Leão Siqueira	3	58	29	0.73
Marlene Vieira da Silva	3	20	29	1
Casa Motorista (Ari)	1	0	29	2.38
Almeida Carvalho	7	75	29	0.93
Zhu Xihuan	7	23	29	1.13

NOME	Rota	Demanda (KG)	Semente	Custo viagem
Jeferson Mello	7	58	61	0.83
Orlando y Kaibara	7	284	61	0.93
Casa do Motorista (alemão)	7	0	61	5.37
José Tarcisio Alves	7	1024	61	0.68
Cunha & Colin LTDA	7	87	61	0.28
Zenatti e Caridade Ltda.	7	19	61	0.51
Edemir Carlos Moreli	7	47	61	0
Pastelaria Episcopal LTDA	7	51	61	0.11
Nelson Zanella	7	290	61	0.34
Cleusa aparecida Struziato	1	33	61	2.05
Guerino Fracanso	1	145	61	1.49
João Aparecido Pazini	1	28	61	1.8
Carmelia Maria Souza	3	78	61	2.96
MARIS bar	1	26	61	2.96
Jamir Antônio Biscalhin	1	58	61	3.44
Struziato e Simões	1	443	61	1.71
Otávio Zago	1	148	61	2.18
Marini & Marini São Carlos	1	386	61	1.92
Carlos Alberto Fragante	1	116	61	2.01
Mazari & Gallo	1	39	61	2.18
Tereza Cortez Nunes	1	375	61	3.61
Antônio Luiz Braga	1	32	61	3.66
Zaguetti & Zaguetti	1	20	61	3.74
Valentim Ap Pallaci	7	20	61	1.85
Shopping Center C D Petrol	7	8	61	1.85
Mauro Cerri Jr	7	26	61	0.85
José Pizanchi Me	7	58	61	0.7
Rest e Lanchonete Roma s/c	7	1812	61	0.38
Carlos César Domingues	7	58	61	0.17
Chen Yan Yun S Carlos	7	52	61	0.04
Luís A Gianlourengo Me	7	148	61	0.14
Antônio C Nonato	7	556	61	0.4
Raimundo Nonato Martins	7	98	61	0.31
Mikio Sugui Cia LTDA	7	145	61	0.83
Barra E Sciasci Ltda.	7	65	61	0.94
José Ap Cabral	7	116	61	0.99

RELATÓRIO DE SAÍDA FORNECIDO PELO TransCAD PARA PROPOSTA DE ENTREGAS DA TERÇA-FEIRA SEMENTE 61 (VEH_TYPE: M 608)

CLIENTE	Seqüência	Intervalo de atendimento		horário de chegada	tempo de Espera	tempo de serviço	horário de partida	tempo de viagem	Percurso total	Distância total	carga total
		início	fim								
Deposito	0	480.0	1080.0			0.0	480.0			0.00	0.00
Barra e Sciasci LTDA	1	480.0	1080.0	483.7	0.0	10.0	493.7	3.7	1.75	1.75	65.00
José Ap Cabral	2	480.0	1080.0	495.2	0.0	10.0	505.2	1.4	0.67	2.42	181.00
Jeferson Mello	3	480.0	1080.0	506.6	0.0	10.0	516.6	1.4	0.66	3.07	239.00
Orlando y Kaibara	4	480.0	1080.0	516.8	0.0	10.0	526.8	0.2	0.10	3.17	523.00
Mikio Sugui Cia LTDA	5	480.0	1080.0	527.3	0.0	10.0	537.3	0.5	0.21	3.38	668.00
Raimundo Nonato Martins	6	480.0	1080.0	538.6	0.0	10.0	548.6	1.3	0.62	4.01	766.00
Antônio C Nonato	7	480.0	1080.0	548.8	0.0	10.0	558.8	0.2	0.10	4.11	1322.00
Nelson Zanella	8	480.0	1080.0	559.5	0.0	10.0	569.5	0.7	0.33	4.44	1612.00
Pastelaria Episcopal LTDA	9	480.0	1080.0	569.8	0.0	10.0	579.8	0.3	0.14	4.59	1663.00
Zenatti e Caridade LTDA	10	480.0	1080.0	580.7	0.0	10.0	590.7	0.9	0.41	4.99	1682.00
Carlos César Domingues	11	480.0	1080.0	591.3	0.0	10.0	601.3	0.6	0.28	5.27	1740.00
Cunha & Colin LTDA	12	480.0	1080.0	601.5	0.0	10.0	611.5	0.2	0.11	5.37	1827.00
José Tarcísio Alves	13	480.0	1080.0	612.4	0.0	10.0	622.4	0.9	0.40	5.78	2850.00
José Pizaneli me	14	480.0	1080.0	623.3	0.0	10.0	633.3	0.9	0.42	6.20	2908.00
Mauro Cerri Jr	15	480.0	1080.0	633.6	0.0	10.0	643.6	0.3	0.15	6.35	2934.00
Shopping Center C D Petrol	16	480.0	1080.0	645.7	0.0	10.0	655.7	2.1	0.99	7.35	2942.00
Valentim Ap Pallaci	17	480.0	1080.0	655.7	0.0	10.0	665.7	0.0	0.00	7.35	2962.00
Rest e Lanchonete Roma s/c	18	480.0	1080.0	669.3	0.0	10.0	679.3	3.5	1.65	9.00	4773.00
Edemir Carlos Moreli	19	480.0	1080.0	680.2	0.0	10.0	690.2	0.9	0.41	9.41	4820.00
Chen Yan Yun S Carlos	20	480.0	1080.0	690.2	0.0	10.0	700.2	0.1	0.04	9.45	4872.00
Luis a Gianlourenco me	21	480.0	1080.0	700.5	0.0	10.0	710.5	0.2	0.11	9.55	5020.00
Maris Bar	22	480.0	1080.0	716.0	0.0	10.0	726.0	5.6	2.89	12.44	5046.00
Carmelia Maria Souza	23	480.0	1080.0	726.0	0.0	10.0	736.0	0.0	0.00	12.44	5124.00
Struziato e Simões	24	480.0	1080.0	737.1	0.0	10.0	747.1	1.0	0.48	12.92	5567.00
João Aparecido Pazini	25	480.0	1080.0	747.7	0.0	10.0	757.7	0.6	0.28	13.21	5595.00
Guerino Fracanzo	26	480.0	1080.0	758.8	0.0	10.0	768.8	1.2	0.55	13.75	5740.00
Cleusa Aparecida Struziato	27	480.0	1080.0	770.6	0.0	10.0	780.6	1.7	0.80	14.55	5773.00
Casa do Motorista (Alemão)	28	720.0	840.0	790.7	0.0	120.0	910.7	10.2	4.88	19.43	5774.00
Tereza Cortez Nunes	29	480.0	1080.0	922.5	0.0	10.0	932.5	11.8	6.05	25.48	6149.00
Antônio Luiz Braga	30	480.0	1080.0	933.3	0.0	10.0	943.3	0.7	0.35	25.83	6181.00
Zaguetti & Zaguetti	31	480.0	1080.0	943.4	0.0	10.0	953.4	0.2	0.08	25.91	6201.00
Jamir Antônio Biscalhin	32	480.0	1080.0	954.7	0.0	10.0	964.7	1.3	0.61	26.52	6259.00
Mazari & Gallo	33	480.0	1080.0	965.7	0.0	10.0	975.7	0.9	0.42	26.94	6298.00
Otávio Zago	34	480.0	1080.0	976.0	0.0	10.0	986.0	0.4	0.18	27.12	6446.00
Marini & Marini São Carlos	35	480.0	1080.0	986.2	0.0	10.0	996.2	0.2	0.09	27.21	6832.00
Carlos Alberto Fragante	36	480.0	1080.0	996.4	0.0	10.0	1006.4	0.2	0.10	27.31	6948.00
Deposito	37	480.0	1080.0	1012.4				5.9	2.76	30.07	
Total						470.0		62.2	30.07		

RELATÓRIO DE SAÍDA FORNECIDO PELO TransCAD PARA A PROPOSTA DE ENTREGAS DA TERÇA-FEIRA, SEMENTE 29 (VEH_TYPE: MB.608).

CLIENTE	Seqüência	Intervalo de atendimento		horário de	tempo de	tempo de	horário de	tempo de	Percurso	Distância	carga
		início	fim	chegada	Espera	serviço	partida	viagem		total	total
Deposito	0	420.0	1020.0			0.0	715.4			0.00	0.00
Otávio J Corrêa	1	480.0	1080.0	715.8	0.0	10.0	725.8	0.4	0.17	0.17	126.00
Natalino a Freitas	2	480.0	1080.0	726.5	0.0	10.0	736.5	0.8	0.35	0.52	166.00
Emílio Blanco 1336	3	480.0	1080.0	736.7	0.0	10.0	746.7	0.1	0.07	0.59	326.00
Antônio Paula Silva	4	480.0	1080.0	746.8	0.0	10.0	756.8	0.1	0.07	0.66	416.00
Antônio e Cabral	5	480.0	1080.0	758.1	0.0	10.0	768.1	1.3	0.61	1.27	484.00
Casa Motorista 1	6	780.0	900.0	780.0	0.0	120.0	900.0	11.9	5.54	6.80	485.00
Almeida carvalho	7	480.0	1080.0	907.1	0.0	10.0	917.1	7.1	3.30	10.10	560.00
ORLANDO y Kaibara	8	480.0	1080.0	917.1	0.0	10.0	927.1	0.0	0.00	10.10	844.00
Cogeb i	9	480.0	1080.0	930.1	0.0	10.0	940.1	3.1	1.43	11.53	1800.00
Antoniazzi and Antoniazzi	10	480.0	1080.0	941.7	0.0	10.0	951.7	1.6	0.74	12.27	1947.00
Valdir Cristinelli	11	480.0	1080.0	952.3	0.0	10.0	962.3	0.6	0.26	12.54	1955.00
Carlos dos Santos Macedo	12	480.0	1080.0	963.0	0.0	10.0	973.0	0.7	0.32	12.86	1989.00
J Garcia e Garcia	13	480.0	1080.0	974.1	0.0	10.0	984.1	1.1	0.53	13.39	2125.00
Ivan Leão Siqueira	14	480.0	1080.0	984.6	0.0	10.0	994.6	0.5	0.21	13.60	2183.00
Marlene Vieira da Silva	15	480.0	1080.0	995.1	0.0	10.0	1005.1	0.6	0.27	13.87	2203.00
Nilce Nunes de Siqueira	16	480.0	1080.0	1006.1	0.0	10.0	1016.1	1.0	0.45	14.32	2218.00
Depósito	17	420.0	1020.0	1017.6				1.5	0.71	15.03	
Total									15.03		

RELATÓRIO DE SAÍDA FORNECIDO PELO TransCAD PARA PROPOSTA DE ENTREGAS DA TERÇA-FEIRA, SEMENTE 12 (VEH_TYPE: M 608)

CLIENTE	Seqüência	Intervalo de arrendimento		horário de	tempo de	tempo de	horário de	tempo de	Percurso	Distância	carga
		início	fim	chegada	Espera	serviço	partida	viagem		total	total
Deposito	0	420.0	1020.0			0.0	506.4			0.00	0.00
Eugênio Depetri Junior	1	480.0	1080.0	508.9	0.0	10.0	518.9	2.6	1.20	1.20	808.00
Agostinho Matioli	2	480.0	1080.0	520.6	0.0	10.0	530.6	1.6	0.76	1.96	934.00
Hotel Indaia	3	480.0	1080.0	532.9	0.0	10.0	542.9	2.3	1.07	3.04	944.00
Maurani Mauricio Marques	4	480.0	1080.0	543.7	0.0	10.0	553.7	0.8	0.39	3.42	1208.00
Adriano Gomes Dias	5	480.0	1080.0	554.5	0.0	10.0	564.5	0.8	0.39	3.81	1279.00
Pila e Campos	6	480.0	1080.0	564.9	0.0	10.0	574.9	0.4	0.20	4.01	1524.00
Bottani e Cia	7	480.0	1080.0	578.5	0.0	10.0	588.5	3.6	1.69	5.71	1684.00
Marlene I Vendrasco	8	480.0	1080.0	594.6	0.0	10.0	604.6	6.1	2.84	8.55	1694.00
José Alpoin Almeida Mello	9	480.0	1080.0	605.3	0.0	10.0	615.3	0.7	0.31	8.86	1772.00
Carvalho & Carvalho	10	480.0	1080.0	615.7	0.0	10.0	625.7	0.4	0.19	9.05	1990.00
Churrascaria Tabajara	11	480.0	1080.0	627.2	0.0	10.0	637.2	1.5	0.72	9.77	2716.00
Renato Barbosa	12	480.0	1080.0	637.7	0.0	10.0	647.7	0.4	0.20	9.96	2789.00
Valdir Torres Cia	13	480.0	1080.0	648.6	0.0	10.0	658.6	0.9	0.41	10.38	2847.00
Sônia Fernandes Pinheiro	14	480.0	1080.0	659.9	0.0	10.0	669.9	1.4	0.64	11.02	2925.00
José Carlos Veltrone	15	480.0	1080.0	670.3	0.0	10.0	680.3	0.4	0.17	11.19	2948.00
Marco Ângelo Vizzoto	16	480.0	1080.0	680.9	0.0	10.0	690.9	0.6	0.29	11.48	3061.00
Orlanda Marques Ferreira	17	480.0	1080.0	691.5	0.0	10.0	701.5	0.6	0.26	11.74	3124.00
Vilma M Borges	18	480.0	1080.0	703.2	0.0	10.0	713.2	1.7	0.82	12.56	3483.00
Casa do Motorista 3	19	720.0	780.0	720.0	0.0	120.0	840.0	6.8	4.99	17.55	3484.00
Deposito	20	420.0	1020.0	846.8				6.8	3.65	21.20	
Total						300.0		40.4	21.20		

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHN, B-H., SHIN, J-Y. (1991). Vehicle routing with time windows and time varying congestion. *Journal of the Operational Research Society*, v.42, n.5, p.393-400.
- ALMEIDA, M. F. B. (1998). *Roteirização de veículos para o transporte de alunos da zona rural utilizando um Sistema de Informações Geográficas*. São Paulo. 185p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos.
- ARONOFF, S. (1989). *Geographical information system: a management perspective*. Ottawa: WDL Publications.
- ARRUDA, J.B.F. (1996) *Logística, eficiência e competitividade empresarial*. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará, Notas de aula.
- ASSAD, A. A. (1988). Modeling and implementation issues in vehicle routing. In: GOLDEN, B. L.; ASSAD, A. A.; eds. *Vehicle routing: methods e studies*. North-Holland, Amsterdam. p. 7-45.
- BAAJ, M. H. et al. (1995). Integrating geographic information system technology and transportation models. *Transportation Research Record*, n.1271, p. 44-47.
- BAKER, B. M. (1992) Further improvements to vehicle routing heuristics. *Operations Research*, v.12,n.4, p.568-581.
- BALAKRISHNAN, N. (1993). Simple heuristics for the VRP with soft time windows. *Journal of Operational Research Society*, v.44, n.3, p.279-287.
- BALL et al. (1983). Planning for trucks fleet size in the presence of a common-carrier option. *Decision Sci.* v.14, P.103-120.
- BALLOU, R. H. (1995). *Logística empresarial*. São Paulo, Atlas.
- BEASLEY, J. E. (1983). Route first-cluster second methods for vehicle routing. *Omega*, v. 11, p.403.
- BELHOT, M. J. (1993). *A formação de rotas de veículo na distribuição física: modelos e métodos de solução*. Rio de Janeiro. 124p. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia, Universidade Católica.
- BODIN, L. D. et al. (1983). Routing and scheduling of vehicles and crews: the state of the art. *Computers and Operations Research*, v.10, n.2, p. 67-117.
- BODIN, L. D., GOLDEN, B. (1981). Classification in vehicle routing and scheduling. *Networks*,v.11, p. 97- 108.

- BOSE, R.C.A. (1991). *Modelos de roteirização e programação de entregas em redes de transportes*. São Paulo. 171p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- BOTT, K.; BALLOU R. H.(1986). Research perspectives in vehicle routing and scheduling. *Transportation Research*, v.20A, n.3, p.239-243. May.
- BRAVO, F; CERDA, T.J. (1995) Tecnologia SIG aplicada a sistemas de transportes. In: CONGRESSO CHILENO DE INGENIERIA DE TRANSPORTE, 7, Santiago, Actas Chile.
- CALIJURI, M.L.; RÖHM, S. A. (1994). *Sistemas de informações geográficas*. Viçosa, Imprensa Universitária.
- CALIPER (1996). *User's guide*. (transportation GIS software), Caliper corporation, version 3.0 for use with Microsoft Windows.
- CÂMARA, G. (1994) Anatomia de um SIG. *Revista Fator GIS*, v. 1, n. 4, p.11-15.
- CAMARGO, P. (1993). *Desenvolvimento e organização das redes de transporte: modelos de análise selecionados e aplicados ao Estado de São Paulo*. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo.
- CHANG, N. B. et al. (1997). GIS technology for vehicle routing and scheduling in solid waste collection systems. *Journal of Environmental Engineering*, v.123, n.9, Sept.
- CHRISTOFIDES, N. (1973). The optimum transversal of a graph. *The international Journal of Management Science*, v.1, n.6, p.719-732.
- CHRISTOFIDES, N.(1975). *Graph theory algorithmic approach*. London, Academic Press.
- CHRISTOFIDES, N.; MINGOZZI, A.; TOT., P. (1981) State space relaxation procedures for the computation of bounds to routing problems. *Networks*, v.11, 145-164.
- CLARKE, G.; WRIGHT, J. (1964). *Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points*. *Operations Research*, v.12,n.4, p.568-581.
- CULLEN, F.; JARVIS, J.; RATLIFF D. H. (1981). Set partitioning based heuristics for interactive routing. *Networks*. v.11, p.135-144.
- CUNHA, C.B. (1991). *Algoritmos para roteamento e programação de veículos no contexto da distribuição física*. São Paulo. 185p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica , Universidade de São Paulo.
- CUNHA, C.B. (1997). *Uma contribuição para o problema de roteirização de veículos com restrições operacionais*. São Paulo. 222p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica , Universidade de São Paulo.
- DANTAS, A.S.; TACO, P.W.G.; YAMASHITA, Y. (1996). *Sistemas de informação geográfica em transportes: o estudo do estado da arte*. Brasília. CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES – ANPET , 10.

- DANTAS, A. S. (1998). *Metodologia para localização de um centro de distribuição domiciliar da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos com o auxílio do sistema de informação geográfica*. Brasília. 201p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília.
- DANTZIG, G. B.; RAMSER (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, v.6, p.81-91.
- DANTZIG, G. B. (1960). On the shortest route through a network. *Management Science*, v.6, n.2 p.187-190, Jan.
- DASKIN, M. S. (1985). Logistics: an overview of the state of the art and perspectives on Future. *Transportation Research Part A*, set.
- DAVIS JR, C.A. (1997). *Aumentando a Eficiência da Solução de Caminho Mínimo em SIG*. In: CONGRESSO DE GEOPROCESSAMENTO - GIS BRASIL 97, Curitiba, CD-ROM.
- DELUQUI, K. K. (1998). *Roteirização para veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares utilizando um sistema de informações geográficas -SIG*. São Carlos. 138p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DESROCHERS, M.; LENSTRA, J. K.;SAVELSBERG, M.W.P. (1990). A classificatuion scheme for vehicle routing and scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, v.46, p.322-332.
- DESROSIERS, J.; DUMAS, Y.; SOUMIS, F. (1991). The pick-up and delivery problem with time-windows. *European Journal of Operational Research*, v.54, p.7-22.
- DIÁRIO DO NORDESTE (1997). *Oeste leva para a infosol 97 produtos que atendem áreas de otimização, geoprocessamento e rastreamento de frota*. Fortaleza, 23 de junho, Segunda-feira.
- DJKSTRA, E. W. (1959) A note on two problems in connection with graphs. *Numerische Mathematik*, v.1, p.269-271.
- EILON, W. C. C.; CHRISTOFIDES, N. (1971). *Distribution management: mathematical modeling and pratical analysis*. New York, Hafner.
- EISELT, H. A.; GENDREAU, M.; LAPORTE, G.(1995). Arc routing problems. Part I: *The chinese postman problem*. *Operatins Research* p. 43-231.
- ELMAGHRABY, S. E. (1970). The theory of networks and management science, part I. *Management science*, v.17, n.1, p.1-34, Set.
- FERREIRA, A.B.H. (1975). *Novo dicionário da língua Portuguesa*. Rio de Janeiro, Nova Fronteira.
- FISHER, M. L.; RINNOOY KAN, A. H. G. (1988). The design, analysis and implementation of heuristics. *Management Science*, v. 34, n.3, p.263-265.

- FISHER, M. L.; JAIKUMAR, R. (1981). A generalized assignment heuristic for vehicle routing. *Networks*, v.11, p.109-124.
- FLOYD, R. W. (1962) Algorithm 97. *Communications in ACM*, v.5, p.345.
- FOSTER B. A., RYAN, D. M. (1976). An integer programming approach to the vehicle scheduling problem. *Operations research*.
- FRIZZELL, P.W.; GIFFIN, J.W. (1995). The split delivery vehicle scheduling problem with time windows and grid network distances. *Computers & Operations Research*, v.22, n.6, p.655-667.
- GALVÃO, R. D.; FERREIRA, V.J.M.; HENRIQUES, H.B.S (1994). *Roteamento baseado em sistema de informações geográficas*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO de PESQUISA OPERACIONAL, 26., Florianópolis, *Anais*. p.708-713.
- GAUTHIER, H.L. (1960). Least cost flows in a capacitated network: a Brazilian example; *the geographical review*, selection 12.
- GILLET, B. E.; MILLER L. R. (1974). A heuristic algorithm for the vehicle-dispatcher problem. *Operations Research*, v.22, n.22, p.340-349.
- GOLDEN, B. (1976). Shortest path algorithms: a comparison. *Operations Research*, v.24, n. 6, p.1164-1168, nov-dez.
- GOLDEN, B. L.; WASIL, E. A. (1987). Computerized vehicle routing in the soft drink industry. *Operations Research*, n. 35, p.6-17.
- GOLDEN, B. L.; BODIN, L.; GOODWIN, T. (1986). Microcomputer-based vehicle routing and scheduling software. *Computers & Operations Research*, v.13, p.277-285.
- GRACIOLLI, O. D. (1994). *Otimização de roteiros de veículos coletores de resíduos sólidos de serviços de saúde*. Florianópolis. 71p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina.
- HICKMAN, H. L. (1981). Collection of Residential Solid Waste. In ROBINSON, W., ed. *The Solid Waste Handbook – A practical guide*. Washington D.C., Wiley Intercience. Cap. 8, p.177-90.
- KEARNEY A. (1980). *Improving productivity in physical distribution*. London for CPDM. Report undertaken.
- KORTE, G. B. (1992). *The GIS book – a practitioner's handbook*. Nova Yorque, OnWord Press.
- LALONDE B. J.; ZINSZER P. H. (1976). *Customer service: meaning and measurement*. Chicago, National Council of Physical Distribution Management.
- LAPORTE G.; NOBERT, Y.; DESROCHERS M. (1985). Optimal routing under capacity and distance restrictions, *Operations research*, 339, 1050 .

- LARSON, C.; ODONI, A. R. (1981). *Urban operations research*. Englewood Cliffs, Prentice Hall. New Jersey.
- LOPEZ, I. (1996). Na rota de eficiência e economia. *Revista Tecnológica*, n.11, p.20-27, ago.
- LOUREIRO, C.F.G.; RALSTON, B.A. (1996). SIG como Plataforma para Modelos de Análise de Redes de Transporte. In: CONGRESSO EM PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, Brasília, vol.1, p.235-244.
- MAGNANTI, T.(1981). Combinatorial optimization and vehicle fleet planning: perspectives and prospects. *Networks*, v. 11, p.245-252.
- MARKS, D.H.; STRICKER, R. (1971). Routing for public service vehicles. *Journal of the urban planning and developing division, ASCE*, v.27, UP2, p. 165-178.
- MARQUES, H.N. (1998). *Um sistema de informações para usuários de transporte coletivo em cidades de médio porte*. São Carlos. 90p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MOLE, R. H.(1979) A survey of local delivery vehicle routing methodology. *Journal of the Operational Research Society*, v.30, p.245-252.
- NIPE/Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa e Ensino (1997). Subsídios para políticas municipais de saúde. São Carlos v. 1 n. 1 dez.
- NOVAES, A.G. (1970). Demanda e custos de transporte de calcários no rio tiête. In: : CONGRESSO EM PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES MARÍTIMO E COSNTRUÇÃO NAVAL, 3, Porto Alegre.
- NOVAES, A.G. (1989). *Sistemas logísticos: transporte, armazenagem e distribuição física de produtos*. São Paulo, Edgard Blücher.
- NOVAES, A.G.; ROSSETO, C.F. (1993). Localização de depósitos numa rede logística com auxílio de GIS. In: CONGRESSO EM PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 7, São Paulo, *Anais*, v. 2, p.605-616.
- NOVAES, A.G.N.; ALVARENGA, A.C (1994). *Logística aplicada: suprimentos e distribuição física*. São Paulo, Pioneira.
- OGDEN, K.W. (1992). *Urban goods movement: a guide to policy and planning*. England, Ashgate.
- OLIVEIRA, M.G.S.; RIBEIRO, P.C.M. (1997). *Aplicação de Sistemas de Informações Geográficas em Coordenação Semafórica*. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES - ANPET, 11, Rio de Janeiro, 1997. *Anais*. v.1, p.113-125.
- PAREDES, E. A. (1995). *Sistema de informação geográfica, princípios e aplicações (geoprocessamento)*. São Paulo, Érica.
- PEIXOTO, R.S.S.L. (1997). *Utilização de sistemas de informações geográficas para o gerenciamento de cidades de pequeno porte*. São Carlos. 170p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- POLLACK, M.; WEBENSON, W. (1960) Solutions of the shortest route problem. *Operations research*, v.8, n.2, p.224-230.
- POTVIN et al. (1989). ALTO: a computer system for the design of vehicle routing algorithms. *Computers & Operations Research*, v. 16, n. 5, p. 451-470.
- RABUSKE, M. A. (1992). Introdução à teoria dos grafos. Florianópolis. UFSC.
- ROSSEAU, J.M. (1988). Customization versus a general purpose code for routing and scheduling problems: A point of view. In: *VEHICLE ROUTING: METHODIES AND STUDIES*, Golden, B. L. e Assad, A. A., North-Holland, Amsterdam, p.469-479.
- ROSSETO, C.F.; CUNHA, C.B. (1994). A aplicação do geoprocessamento na roteirização de veículos. In: Congresso de Geoprocessamento - GIS Brasil 94, *Anais*. Curitiba, p.35-44.
- ROWE, J. (1997). Is it real or data visualization?. *GIS World*, v. 10, n.11 p.47-50, nov.
- RICHARDSON, A. J.; AMPT, E. S.; MEYBURG, A. H. (1995). *Survey methods for transport planning*. Australia. Eucalyptus press.
- RUSSELL, R. A. (1977). An effective heuristic for the M-tour travelling salesman problem with some side conditions. *Operational Research*, v.21, p.498-516.
- SALTORATO, P. (1998). *O roteamento de veículos: uma avaliação sobre sua introdução na coleta de resíduos sólidos urbanos*. São Carlos. 111p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SILVA, A.N.R.; LOTTI, C.P.; MARGARIDO, S.A.; PAMPOLHA, V.M.P. (1996). Quem não tem Tiger... *Revista Fator GIS*, n.14, p18-19
- SOLOMON, M. M. (1986). On the worst-case performance of some heuristics for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints, *Network*, v. 16, p. 161-174.
- SOLOMON, M.M. (1987). Algorithms for vehicle routing and scheduling problems with time windows constraints. *Operations Research*, v. 35, p. 254-265.
- SOLOMON, M. M., DESROSIERS, J. (1988). Time window constrained routing and scheduling problems. *Transportation Science*, v. 22, n.1, p. 1-13.
- TAAFFE, E. J.; GAUTHIER, H. L.; O'KELLY, M. E. (1973) *Geography of Transportation*. New Jersey, Prentice Hall.
- TEIXEIRA, A.M.A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. (1992). Introdução aos sistemas de informação geográfica. Rio Claro, edição do autor.
- VALENTE, A. M.; PASSAGLIA, E.; NOVAES, A. G. (1997). *Gerenciamento de transporte e frotas*. Pioneira. São Paulo. CNT (Confederação Nacional do Transporte).

VIVIANI, E.; SÓRIA, M.H.A.; SILVA, A.N.R. (1994). Gerenciamento de Vias não Pavimentadas e a Utilização de Sistemas de Informação Geográfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 1, Florianópolis, 1994. Anais. p.118-126.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

CALIPER (1996). *Routing and logistics with TransCAD* (transportation GIS software), Caliper corporation, version 3.0 for use with Microsoft Windows.

COCHRAN, W. G. (1965). *Técnicas de amostragem*. Traduzido por Fundo de Cultura, Rio de Janeiro.

COSTA NETO, P. L. O. (1976). *Estatística básica*. São Paulo, ed. Edgard Blücher.

DUTRA, N. G. S. (1998). *Planejando uma rede escolar municipal para reduzir custos de deslocamentos*. São Carlos. 90p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MAGEE, J.F.; COPACINO, W.C.; ROSENFELD, D.B. (1985). *Modern logistics management: integrating marketing, manufacturing, and physical distribution*. New York, John Wiley & Sons.

MAGNANTI, T. L. (1981) Combinatorial optimization and vehicle fleet planning: perspectives and prospects. *Networks* 11, 179-214.

NOVAES, A.G. (1978). *Métodos de otimização aplicados aos transportes*. São Paulo, Edgard Blücher.

SILVA, A.N.R.; WAERDEN, P. (1997). First steps with a Geographic Information System for transportation, São Francisco. Ribeirão Preto.

SILVA, A.N.R. (1995). Os sistemas de informação geográfica e a engenharia de transportes no Brasil. In: *WORKSHOP SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS - ANPET, 9., São Carlos, 1995. Anais*.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Escola de Engenharia de São Carlos. Serviço de biblioteca (1996). *Diretrizes para elaboração de dissertações e teses na EESC-USP*. São Carlos.

VALENTE, A. M. (1990). Manual de cálculo de custos e formação de preços do transporte rodoviário de cargas. *NTC (Associação Nacional das Empresas de Transporte Rodoviário de cargas)*.

APÊNDICE

APÊNDICE 1 - FÓRMULAS ESTATÍSTICAS UTILIZADAS

1) Estimativa da grandeza das amostras

Seja $\bar{x}$ a média das observações de uma amostra aleatória simples, deve-se satisfazer a condição: $\Pr(|\bar{x} - \mu| \geq d) = \alpha$, onde d é a margem de erro escolhida e α é uma pequena probabilidade e, admitindo-se que esta média seja normalmente distribuída, seu desvio padrão é:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (1)$$

seu erro padrão será:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

portanto,

$$d = t \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

onde t é abscissa da curva de frequência normal, que define uma área daí resulta α . tirando o valor n nessa expressão tem-se:

$$n = \frac{\left(\frac{tS}{d}\right)^2}{1 + \frac{1}{N} \left(\frac{tS}{d}\right)^2} \quad (3)$$

$$n = \frac{t_{n-1, \alpha/2}^2}{e_0^2} \quad (4)$$

Seja N um número extremamente elevado, uma primeira aproximação será:

$$n_0 = \frac{S^2}{(d/t)^2} \quad (5)$$

2) Comparação de médias amostrais

Para comparação de média de amostras superiores a 30 elementos, de uma população desconhecida, utiliza-se distribuição normal padrão ao invés de *t* de Student.

- variância de variáveis independentes

$$s(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) = \sqrt{\frac{s_{x_1}^2}{n_1} + \frac{s_{x_2}^2}{n_2}} \quad (6)$$

- fórmula para o valor de teste de z

$$z = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_{x_1}^2}{n_1} + \frac{s_{x_2}^2}{n_2}}} \quad (7)$$

- Fórmula para o cálculo da média:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum x_i}{n} \quad (8)$$