

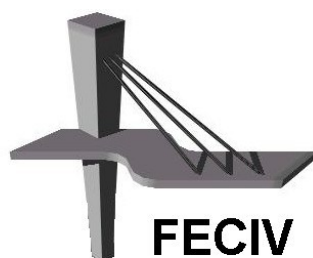


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Dissertação DE MESTRADO

**Estudo para Compartilhamento de Terminais
entre um Sistema Tronco-Alimentador de
Passageiros e a Logística Urbana de Cargas**

JARDEL INACIO MOREIRA VIEIRA



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



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



Jardel Inácio Moreira Vieira

**Estudo para Compartilhamento de Terminais entre um
Sistema Tronco-Alimentador de Passageiros e a
Logística Urbana de Cargas**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a
obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil** no
Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil
da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Camilla Miguel Carrara Lazzarini

Uberlândia, 2015

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo.

Agradeço ao Professor Carlos por manter-me ligado ao mundo acadêmico. Sem o seu apoio e orientação eu não teria perseverado sequer na graduação.

Agradeço a minha esposa Aline pelo auxílio e otimismo.

Agradeço à Professora Camilla pela orientação e por permitir-me participar de trabalhos anteriores.

Agradeço aos colegas do laboratório de estudo em Transportes pela confiança durante a elaboração de seus trabalhos, através de contribuições que me fizeram aprender muito. Especialmente aos amigos Arnaldo Resende e Fernando Araújo pelos dados de demanda utilizados na simulação deste trabalho e outras contribuições.

À Universidade Federal de Uberlândia e ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil pelo apoio necessário à pesquisa.

À CAPES pelo apoio financeiro.

Vieira, J. I. M. Estudo para Compartilhamento de Terminais entre um Sistema Tronco-Alimentador de Passageiros e a Logística Urbana de Cargas. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

RESUMO

O objetivo deste estudo é analisar a viabilidade de utilizar parte da capacidade do transporte coletivo de passageiros fora do seu horário de pico na logística urbana de cargas. A proposta de compartilhamento de recursos busca reduzir custos em ambos e melhorar a qualidade do transporte coletivo de passageiros, especificamente a superlotação em horários de pico. O sistema *Bus Rapid Transit* (BRT) na configuração Tronco-Alimentador para transporte de passageiros e a Logística Urbana de Cargas utilizando Terminais Periféricos de transbordo para Veículos Urbanos de Cargas (VUC) utilizam recursos físicos similares, especificamente Terminais periféricos próximos a vias expressas urbanas. O estudo utilizou dados de uma empresa transportadora que realiza cerca de 100 entregas diárias de cargas fracionadas para comércios na cidade de Uberlândia - MG. Foram aplicadas as ferramentas de Logística (*Transportation Problem e Minimum Cost Flow*) e Roteamento (*Vehicle Routing*) do sistema TransCAD sobre uma rede viária onde estão alocados os terminais periféricos do Sistema Integrado de Transporte (de passageiros) e os clientes atendidos pela empresa transportadora. A simulação computacional dimensionou a frota que consegue atender a demanda diária da transportadora trafegando durante uma janela de tempo equivalente ao entropico do transporte de passageiros, analisando a viabilidade do compartilhamento dos terminais.

Palavras-chave: Transporte Público, SIG-T, Terminais Logísticos, Geração de Cenários

Vieira, J. I. M. **A Study of Shared Terminals between a Trunk and Feeding Transit System and Urban Logistic.** 99 p. Master's Thesis, Faculty of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2015.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the feasibility of using part of the capacity of its vehicles outside their peak hours in urban logistics charges. The resource sharing proposal seeks to reduce costs and improve both the quality of its vehicles, specifically overcrowding at peak times. The Bus Rapid Transit (BRT) system in the trunk-feeder configuration for passenger and freight of Urban Logistics terminals using overflow Peripherals Loads of Urban Vehicles (VUC) use similar physical resources, specifically peripheral terminals near urban expressways. The study used data from a shipping company that carries out about 100 daily deliveries of fractional loads for trades in Uberlândia - MG. The Logistics tools were applied (Transportation Problem and Minimum Cost Flow) and routing (Vehicle Routing) of TransCAD system on a road network where they are stationed peripheral terminals of the Integrated Transport System (passengers) and the clients served by the carrier. The computer simulation scaled the fleet that can meet the daily demand of the carrier traveling during a time window equivalent to window time low demand passenger transport.

Keywords: Public Transportation, GIS-T, Logistic Terminal, Scenario Generation



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA Nº: 138/2015

CANDIDATO: Jardel Inácio Moreira Vieira

ORIENTADORA: Profª. Drª. Camilla Miguel Carrara Lazzarini

TÍTULO: "Estudo para compartilhamento de terminais entre um sistema tronco-alimentador de passageiros e a logística urbana de cargas"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Urbana, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

LINHA DE PESQUISA: Planejamento e Operação de Transportes

DATA DA DEFESA: 02 de abril de 2015

LOCAL: Sala de Projeções da FECIV

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 15:45 - 18:00

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que o candidato foi:

☒ APROVADO

☐ REPROVADO

OBS:

A banca considera que o aluno tem até 30 dias para realizar as sugestões e alterações sugeridas pela banca.

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:

Camilla Miguel Carrara Lazzarini

Professora Orientadora: **Profª. Dra. Camilla Miguel Carrara Lazzarini – FECIV/UFU**

[Assinatura]

Membro externo: **Prof. Dr. André Luiz Barbosa Nunes da Cunha – EESC/USP**

José Ap. Sorratini

Membro interno: **Prof. Dr. José Aparecido Sorratini – FECIV/UFU**

Uberlândia, 02 de Abril de 2015.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

- V65e
2015 Vieira, Jardel Inacio Moreira, 1976-
Estudo para compartilhamento de terminais entre um sistema tronco-
alimentador de passageiros e a logística urbana de cargas [recurso
eletrônico] / Jardel Inacio Moreira Vieira. - 2015.
- Orientadora: Camilla Miguel Carrara Lazzarini.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.1196>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.
1. Engenharia civil. 2. Transporte urbano - Uberlândia (MG). 3.
Transportes - Trânsito de passageiros. 4. Transportes coletivos -
Uberlândia (MG). I. Lazzarini, Camilla Miguel Carrara, 1980- (Orient.)
II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 624

Maria Salete de Freitas Pinheiro - CRB6/1262

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de Custos do Transporte na Cadeia de Valor de Produto	6
Tabela 2 - Corredor Estrutural João Naves: principais problemas para os usuários	19
Tabela 3 - Análise dos indicadores com base em padrões de qualidade no SIT	19
Tabela 4 - Custo por entrega para tipos de entrega e distância entre CD e Zona	24
Tabela 5 - Áreas dos Terminais SIT Uberlândia	42
Tabela 6 - Relação de área construída por passageiros diários	42
Tabela 7 - <i>Layout</i> dos dados de demanda	55
Tabela 8 - <i>Layout</i> da tabela com as coordenadas de entregas	57
Tabela 9 - Simulação A (calibração das velocidades de percurso)	60
Tabela 10 - Simulação B (calibração dos tempos de entrega)	60
Tabela 11 - Demandas por Terminal Periférico	61
Tabela 12 - Cenário 01 (1 Terminal / 6,5 ton)	63
Tabela 13 - Cenário 02 (1 Terminal / 500 kg)	63
Tabela 14 - Cenário 03 (1 Terminal / 1000 kg)	64
Tabela 15 - Cenário 04 (1 Terminal / 1500 kg)	64
Tabela 16 - Cenário 05 (1 Terminal / 2500 kg)	64
Tabela 17 - Cenário 06 (1 Terminal / 2500 kg)	65
Tabela 18 - Cenário 07 (2 Terminais / 1500 kg)	65
Tabela 19 - Cenário 08 (2 Terminais / 2500 kg)	65
Tabela 20 - Cenário 09 (4 Terminais / 500 kg)	66
Tabela 21 - Cenário 10 (4 Terminais / 1000 kg)	66
Tabela 22 - Cenário 11 (4 Terminais / 1500 kg)	67
Tabela 23 - Cenário 12 (4 Terminais / 2500 kg)	67
Tabela 24 - Cenário 13 (5 Terminais / 500kg 1500 kg)	67
Tabela 25 - Cenário 14 (5 Terminais / 500kg 2500 kg)	68
Tabela 26 - Consolidação de dados dos Cenários	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localizações de candidatos a terminais de carga	3
Figura 2 - Localização dos Terminais do SIT Uberlândia	4
Figura 3 - Demandas Horárias de Passageiros e Cargas	4
Figura 4 - Comparativo de crescimento da tarifa, demanda e renda	7
Figura 5 - Índice de Crescimento da Frota de Ônibus Urbanos	15
Figura 6 - Demanda de Passageiros em Ônibus Urbanos	16
Figura 7 - Crescimento da Demanda SIT Uberlândia	16
Figura 8 - IPK SIT Uberlândia	17
Figura 9 - Esquema típico de distribuição "um para muitos"	22
Figura 10 - Custo unitário para entrega de pacotes	23
Figura 11 - Custo unitário para entrega de bebidas	23
Figura 12 - Armários Inteligentes para Última Milha	26
Figura 13 - Áreas funcionais em um armazém	29
Figura 14 - Matriz de Custos para " <i>The Transportation Problem</i> "	32
Figura 15 - <i>The Transportation Problem</i> - TransCAD	33
Figura 16 - Solução do <i>Transportation Problem</i>	33
Figura 17 - Atributos do <i>layer</i> de pontos de entrega	34
Figura 18 - " <i>Vehicle Table</i> "	36
Figura 19 - Vehicle Routing	36
Figura 20 - Layout mínimo para operação de transbordo de cargas fracionadas	40
Figura 21 - Vista lateral do Terminal Logístico Mínimo	40
Figura 22 - Esquemático dos Terminais SIT Uberlândia	41
Figura 23 - Projeto de Expansão do SIT Uberlândia	43
Figura 24 - Rede SIT - VLT proposta	43
Figura 25 - Vista aérea do Terminal Planalto	44
Figura 26 - <i>Layout</i> Terminal Planalto	44
Figura 27 - Terminal Logístico Mínimo no Terminal Planalto	45
Figura 28 - Vista aérea Terminal Umuarama	46
Figura 29 - Vista panorâmica do Terminal Umuarama	46
Figura 30 - Rua anexa ao Terminal Umuarama com feira-livre ao fundo	47
Figura 31 - Opção de perfil viário VLT Uberlândia	47
Figura 32 - Setor comercial do Terminal Umuarama	48
Figura 33 - Vista aérea do Terminal Santa Luzia	49
Figura 34 - <i>Layout</i> do Terminal Santa Luzia	49
Figura 35 - Estação corredor João Naves	50
Figura 36 - Projeto "Leitura no Ponto" em Estação	50
Figura 37 - Vista aérea do Terminal Industrial	51
Figura 38 - Imagem da Rua ao fundo do Terminal Industrial	51
Figura 39 - Opção de Terminal Logístico sobre Terminal de Passageiros	52
Figura 40 - Vista panorâmica do Terminal Industrial	52
Figura 41 - Rede, Depósitos e Entregas no TransCAD	58
Figura 42 - <i>Dataview</i> das Entregas com destaque para Coluna " <i>Depot</i> "	63
Figura 43 - Rotas do Cenário 12	68
Figura 44 - Gráfico de Distâncias (km) percorridas por Cenário	70
Figura 45 - Gráfico de Tempos Totais (min) por Cenário	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B2B	<i>Business to Business</i>
B2C	<i>Business to Consumer</i>
BRT	Bus Rapid Transit
CAD	Computer Aid Design
CD	Centro de Distribuição
CSV	<i>Comma Separeted Values</i>
FECIV	Faculdade de Engenharia Civil
ICF	Índice de Cumprimento de Frota
ICH	Índice de Cumprimento de Horário
ICI	Índice de Cumprimento de Itinerário
ICV	Índice de Cumprimento de Viagens
IDO	Índice de Desempenho Operacional
IIF	Índice de Inspeção de Frota
IPK	Índice de Passageiros por Km
IQV	Índice de Quebra de Veículo
ISU	Índice de Satisfação do Usuário
MG	Minas Gerais
MTX	<i>Matrix</i>
OD	Origem-Destino
PlanMob	Planejamento de Mobilidade Urbana
POSGRAD	Pós-Graduação
PPPs	Parcerias Público Privada
RS	Rio Grande do Sul
SCM	<i>Supply Chain Management</i>
SeMob	Secretaria Especial de Mobilidade Urbana
SETTRAN	Secretaria de Trânsito e Transportes
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIG-T	Sistema de Informações Geográficas para Transportes
SIT	Sistema Integrado de Transportes
SP	São Paulo
SPTrans	Secretaria de Transito de São Paulo
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
VLT	Veículo Leve sobre Trilhos
VUC	Veículo Urbano de Cargas

SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
1.1	O Transporte Urbano de Passageiros e de Cargas	1
1.2	Justificativa	5
1.2.1	Distribuição de Cargas Fracionadas Urbanas	5
1.2.2	Transporte Coletivo Urbano de Passageiros.....	6
1.3	Objetivos	8
1.3.1	Objetivos Específicos	8
2	Revisão Bibliográfica	10
2.1	Sistema de Transporte Urbano de Passageiros	10
2.1.1	O BRT em Sistema Tronco Alimentador	10
2.1.2	Arranjo Institucional.....	12
2.1.3	Situação Atual	14
2.1.4	Índices de Custo do Transporte Público	17
2.1.5	Índices de Qualidade	18
2.2	Logística Urbana.....	20
2.2.1	Conceituação de Logística.....	20
2.2.2	Logística Urbana de Cargas.....	21
2.2.3	Terminais Logísticos Urbanos.....	21
2.2.4	Operação de Terminais de transferência	24
2.2.5	Entrega não assistida	25
2.3	TRANSCAD	27
3	Método Proposto	29
3.1	Dimensionamento de terminais de carga	29
3.1.1	Área de recebimento/expedição.....	30
3.1.2	Área de Armazenagem	30
3.1.3	Área de <i>picking</i>	31
3.2	Problema Clássico de Transportes	32
3.3	Roteirização de Veículos	34
4	Estudo de Caso	37
4.1	Dimensionamento do Terminal Logístico Mínimo	37

4.1.1	Operação do Terminal	37
4.1.2	Dimensionamento da doca de descarga.....	38
4.1.3	Definição do <i>layout</i>	39
4.2	Área em Estudo.....	41
4.2.1	Projeto de Novos Terminais e Corredores Estruturais	42
4.2.2	Estudo do Terminal Planalto	44
4.2.3	Estudo do Terminal Umuarama.....	46
4.2.4	Terminal Santa Luzia.....	49
4.2.5	Estudo do Terminal Industrial	51
4.3	Calibração de Modelo Computacional.....	53
4.3.1	<i>Network</i> e Base de Dados Georreferenciada	54
4.3.2	Dados de Demanda de Cargas	54
4.3.3	Calibração de parâmetros	58
4.3.4	Calibração dos tempos de entrega	60
4.4	Resultados e Análises	61
4.4.1	Problema Clássico de Transportes utilizando Terminais do SIT	61
4.4.2	Geração de Cenários	61
4.4.3	Análise dos Resultados.....	69
5	Conclusões e Sugestões.....	73
7	Referências.....	75
	Anexo A – Tabelas de Tempos e Despachos.....	79
	Anexo B – Simulações para Calibração do Modelo TransCAD.....	82

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 O TRANSPORTE URBANO DE PASSAGEIROS E DE CARGAS

Sobre a malha viária urbana sobrepõem-se diversos sistemas de transportes de passageiros e cargas. Dois desses sistemas que se destacam em grandes e médios centros urbanos são o transporte coletivo de passageiros e o transporte de cargas urbanas. Por exemplo, na cidade de São Paulo o transporte público utilizando ônibus contribui com até 40% do total das viagens motorizadas realizadas por passageiros, e a frota privada de utilitários de cargas é dez vezes maior que a frota de ônibus, segundo informações do Observatório Cidadão Nossa São Paulo (2013).

O estudo do transporte de passageiros tem sido priorizado pela agenda política dos países, porém o transporte de cargas é uma fonte importante de congestionamento e de outros problemas de tráfego, principalmente quando os dois sistemas de transporte necessitam compartilhar rotas (ORTUZAR, 2011 e RODRIGUE ET AL., 2006).

Este trabalho busca estudar dos dois sistemas citados em conjunto, visando a melhoria da mobilidade urbana através do compartilhamento de recursos, especificamente os terminais de transbordo, uma infraestrutura presente tanto em configurações do transporte de passageiros quanto no transporte de cargas. Segundo Ferraz e Torres (2004), quando ocorre a superposição de linhas do transporte de passageiros, adota-se o sistema tronco-alimentador, com veículos de maior capacidade trafegando em linhas troncais conectadas às linhas alimentadoras através de terminais de transbordo. Em relação ao transporte de cargas urbanas em médias e grandes cidades, Novaes (2007) indica a utilização de terminais de transbordo, chamados centros de distribuição de cargas (CD), onde veículos de menor capacidade que os utilizados em trechos interurbanos são carregados, e daí partem para o atender a vários pontos de entrega dentro de uma zona predeterminada. Um ponto importante

para este trabalho, comprovado por Novaes (2007), é que a distância entre o CD e a zona atendida é um fator que influencia substancialmente no custo total da entrega.

Percebe-se que os dois sistemas, o transporte coletivo de passageiros na configuração tronco-alimentador e o transporte urbano de cargas utilizando CD para o atendimento de vários pontos de entrega utilizam terminais de transbordo localizados ao longo de corredores estruturais. Apesar da competição entre o transporte de passageiros e o transporte de cargas pelo uso da infraestrutura urbana, existem vantagens significativas na operação conjunta, principalmente relacionados à diluição de custos operacionais e do investimento em infraestrutura (RODRIGUE ET AL., 2006).

No Brasil o transporte coletivo é atendido por sistemas de Transporte Público de Passageiros, que apresentam baixos índices de qualidade, principalmente relacionados à superlotação. Em São Paulo, a parcela citada de 40% da população é atendida por uma frota que contém apenas 8% do total de assentos disponíveis na cidade. A característica flutuante da demanda do Transporte Público de Passageiros, que apresenta diferenças de até 400% ao longo do dia, leva a um dimensionamento deficitário da frota nos momentos de pico por fatores econômicos (SILVEIRA, 2011). Por outro lado, os índices de atendimento satisfatórios apresentados pelo Transporte Privado de Cargas Urbanas não significam que a atuação é lucrativa para as empresas, já que menos de 5% da distância percorrida dentro de cidades contribuem em até 40% do custo total do transporte (FRANÇA e RUBIN, 2005). Além disso, o tamanho da frota necessária para atendimento da demanda de distribuição de cargas gera diversos transtornos aos centros urbanos, como congestionamentos, poluição e elevação nos índices de acidentes.

Diversas linhas de atuação têm sido propostas e implementadas na busca por soluções que otimizem o sistema de transporte coletivo de passageiros e também de cargas nas cidades. O Transporte Público de Passageiros no Brasil utiliza o BRT (*Bus Rapid Transit*) na configuração Tronco-Alimentador em 14 cidades, apresentando boas relações de custo-benefício em centros urbanos de médio e grande porte. Já no Transporte Privado de Cargas Urbanas, em contraponto às medidas meramente restritivas implantadas pelo poder público, a utilização de Terminais Logísticos Periféricos para transbordo de cargas em veículos mais apropriados ao trânsito urbano é uma realidade implantada pelo setor privado nas cidades brasileiras. O conceito aplicado de Terminais Logísticos e Veículos Urbanos de Cargas

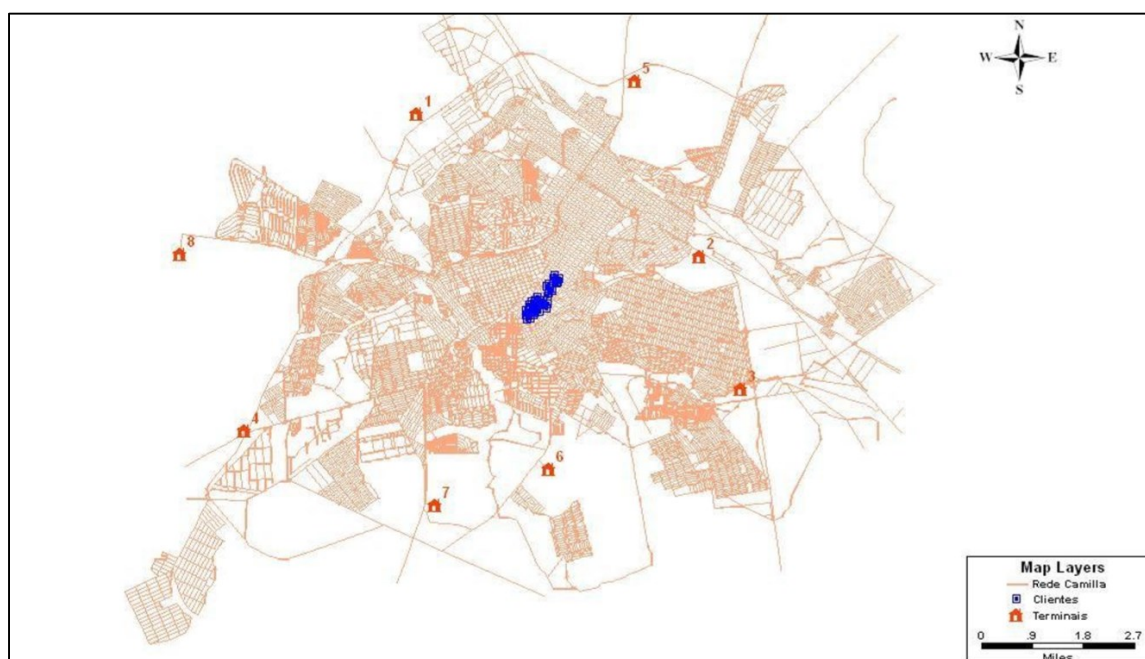
inclui-se no estudo da Logística Urbana, que segundo Thompson (2003) é um processo de planejamento integrado para distribuição de bens baseado na abordagem sistêmica. A Logística Urbana promove esquemas inovadores que reduzem o custo total (incluindo econômico, social e ambiental) da movimentação nas cidades.

A localização de Terminais Periféricos de Passageiros no Sistema Tronco-Alimentador considera a proximidade com vias expressas urbanas como fator preponderante na definição, item também considerado na locação de Terminais Logísticos Urbanos. Carrara (2007), além da proximidade de vias expressas urbanas, considerou para definição dos locais candidatos a Terminais Logísticos o fator ‘ausência de construções vizinhas’, distanciando para setores mais periféricos as posições propostas para terminais logísticos.

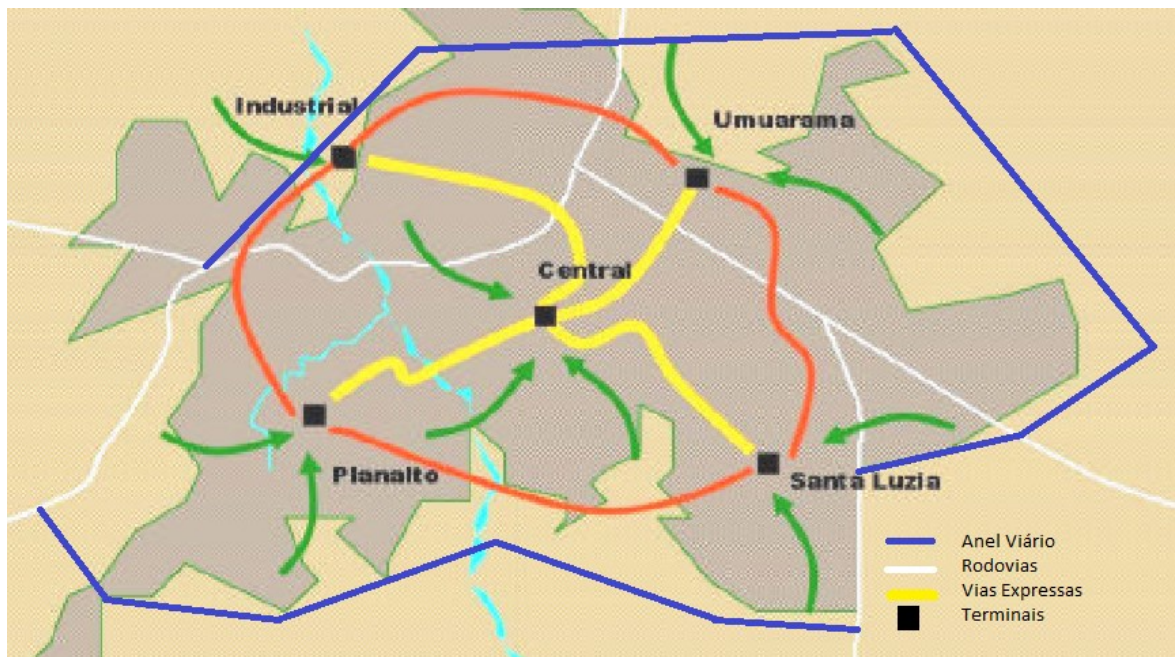
O dimensionamento e alocação de Terminais Periféricos, tanto no Sistema Tronco-Alimentador de Passageiros quanto na Logística Urbana de Cargas, leva em consideração fatores comuns durante a análise e decisão.

Na Figura 1 são mostradas as localizações candidatas a Terminais Logísticos estudados por Carrara (2007) em Uberlândia, MG. Quando comparada ao esquemático da Figura 2, percebemos a proximidade da localização das instalações.

Figura 1- Localizações de candidatos a terminais de carga

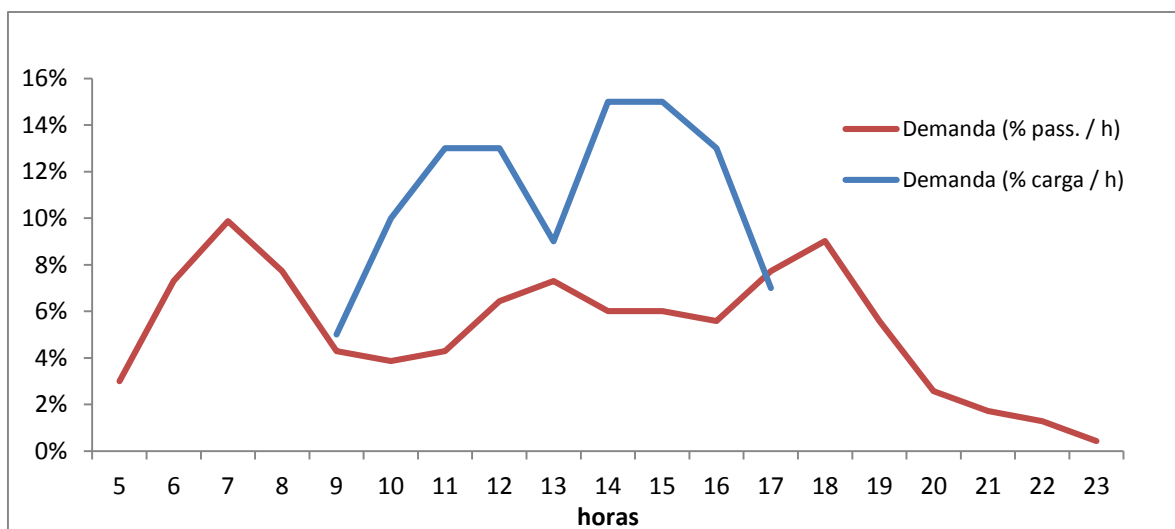


Fonte: Carrara (2007)

Figura 2 - Localização dos Terminais do SIT Uberlândia

Fonte: Settran Uberlândia

Em outra análise, na Figura 3 podemos comparar as demandas ocorridas no transporte de cargas (RESENDE, 2014) e de passageiros ao longo do dia, e observar que os picos não são coincidentes.

Figura 3 - Demandas Horárias de Passageiros e Cargas

Fontes: Banco de dados Pesquisa OD 2002 Uberlândia-MG, Resende (2014)

Observando que os dois sistemas de transporte utilizam terminais localizados em posições semelhantes e tem picos de utilização da rede viária da cidade em horários distintos, este trabalho propõe o estudo para compartilhamento de recursos entre os sistemas urbanos de transporte de passageiros e cargas, analisando especificamente cidades que tem implantadas o BRT (*Bus Rapid Transit*) na configuração Tronco Alimentador para o transporte de passageiros e apresentam demanda de distribuição de cargas urbanas que justifiquem a implantação de Terminais Logísticos Urbanos.

1.2 JUSTIFICATIVA

As deficiências do Transporte Público de Passageiros e do Transporte Urbano de Cargas causam grandes transtornos à população. Entre as medidas do setor público mais efetivas para melhorar o nível de atendimento do transporte de passageiros está a implantação de BRT's em Sistemas Tronco-Alimentador. Por parte do setor privado que atua no transporte urbano de cargas, buscando reduzir custos e minimizar os impactos negativos causados pela movimentação dentro das cidades, observamos a implantação do conceito da Logística Urbana, que propõe a utilização de Terminais Logísticos Periféricos para transbordo em Veículos Urbanos de Cargas (VUC).

1.2.1 Distribuição de Cargas Fracionadas Urbanas

A cadeia de valor de um produto estuda a participação dos elementos que compõe o preço de pagamento, como a fabricação, transporte, estoque e serviços complementares. Novaes (2007) apresenta uma análise da cadeia de valor de um determinado produto, onde são considerados os custos de um eletrodoméstico fabricado em Porto Alegre – RS que é transportado até um depósito localizado na região metropolitana de São Paulo – SP, e posteriormente distribuídos até as lojas dos varejistas. Podemos observar na Tabela 1- Exemplo de Custos de Transportes na Cadeia de Valor de Produto, que a participação da entrega urbana é significativa no custo total, correspondendo a 63,66% dos custos de transporte desde a fábrica até a loja, ou eventualmente até o consumidor.

Tabela 1- Exemplo de Custos de Transportes na Cadeia de Valor de Produto

Item	Valor	%
Transporte interurbano	R\$ 3,97	28,4%
Estoque depósito varejista	R\$ 1,11	7,94%
Entrega urbana até a loja	R\$ 8,90	63,66%
Total do custo de transportes	R\$ 13,98	100,00%

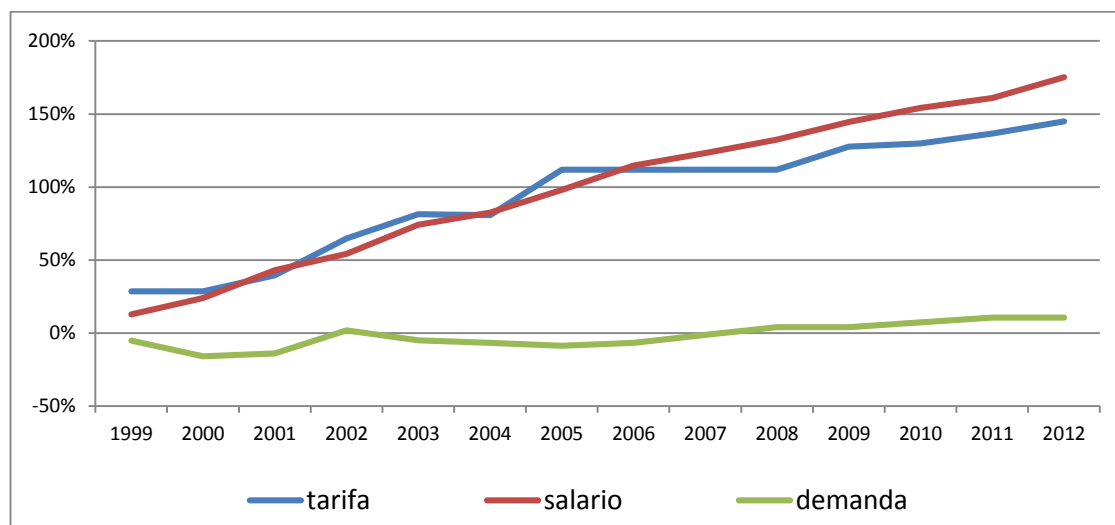
Fonte: Adaptado de Novaes, 2007

Em outro exemplo onde a entrega é feita diretamente ao consumidor no atendimento das demandas do comércio eletrônico, Novaes (2007) considera que a estrutura operacional dos Correios no Brasil é adequada para trabalhar com volumes relativamente pequenos quando comparados com os mercados norte-americano e europeus. Porém, no caso de ocorrer uma expansão muito grande da demanda no comércio eletrônico no Brasil, a estrutura atual dos Correios vai precisar de uma revisão ampla, principalmente no que se refere ao tratamento da informação e à estrutura operacional. (NOVAES, 2007)

Observa-se portanto que a distribuição de cargas fracionadas urbanas é relevante na cadeia logística das cidades, e demandam estudos buscando uma maior integração entre os agentes envolvidos.

1.2.2 Transporte Coletivo Urbano de Passageiros

Em geral, a baixa qualidade do serviço de transporte coletivo urbano faz com que o crescimento da demanda não acompanhe o aumento dos custos (CARVALHO E PEREIRA, 2012). Coerente com esta definição, a superlotação dos ônibus foi apontada por 82% dos usuários do SIT Uberlândia como ‘não aceitável’ (RODRIGUES E SORRATINI, 2008), explicando grande parte da baixa demanda. O gráfico na Figura 4 mostra que a demanda por transporte coletivo público não acompanhou o crescimento da tarifa e do poder de compra da população no período estudado.

Figura 4 - Comparativo de crescimento da tarifa, demanda e renda

Fonte: SETTRAN Uberlândia (2013)

Observa-se um círculo vicioso onde o aumento do custo é repassado ao usuário sem melhoria na qualidade do serviço, impedindo o crescimento da demanda por transporte coletivo público.

Por outro lado, o transporte de cargas comerciais em ambiente urbano representa aproximadamente 30% do volume de tráfego nas grandes cidades e entre 20% e 35% das emissões de gases de efeito estufa, além de representar entre 15% e 20% dos acidentes gerados nas redes viárias urbanas (GUERRERO et al., 2010). Ainda assim, não existe no Brasil um sistema para distribuição de cargas nas cidades que seja, por exemplo, uma concessão pública. A atuação governamental sobre a distribuição de cargas dentro das cidades limita-se à tentativa de solucionar os impactos negativos através de medidas restritivas, como a definição de horários e vias excludentes para veículos de capacidade elevada (SINAY, NOVAES et al, 2004).

A Logística Urbana de Cargas e o Sistema Tronco Alimentador de Passageiros utilizam recursos similares: terminais periféricos próximos a vias troncais e mão-de-obra habilitada na categoria D ou E. Vários estudos acadêmicos foram desenvolvidos na busca de soluções ótimas para cada sistema isoladamente, porém não foram encontradas referências ao compartilhamento de recursos entre os dois sistemas de transportes citados.

Para realizar o estudo foi escolhida a cidade de Uberlândia (MG), onde os dois sistemas operam de forma sobreposta na malha viária. O transporte de passageiros é feito pelo Sistema

Integrado de Transportes (SIT), que utiliza um sistema de BRT na configuração Tronco-Alimentador. Diversas empresas operam na distribuição urbana de cargas secas fracionadas utilizando Centros de Distribuição para transbordo de cargas provenientes de outras cidades e entrega em estabelecimentos comerciais.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste em estudar alternativas para o compartilhamento de Terminais entre um Sistema Tronco-Alimentador de Transporte Público de Passageiros e um Sistema de Logística Urbana.

A alternativa apresentada busca reduzir custos da Logística Urbana através da utilização dos Terminais de distribuição mais próximos das zonas de entrega, utilizando para isto os Terminais de Integração do Transporte Público de Passageiros. O investimento deve ser reduzido em relação a construção de terminais de uso exclusivo, por aproveitar a infraestrutura e localização já implantados.

Será estudado a possibilidade de realizar as operações relacionadas à Logística Urbana na janela de tempo entre os horários de pico do Transporte de Passageiros, propiciando a utilização de mão-de-obra e veículos para o atendimento de demandas nos horários de pico, melhorando o atendimento qualitativo relativo à lotação dos ônibus.

Será avaliada também a possibilidade de reduzir os problemas gerados pela movimentação de cargas na cidade de Uberlândia, MG, utilizando veículos de menor porte e de motorização elétrica.

1.3.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre o Transporte Coletivo de Passageiros utilizando o sistema tronco-alimentador por ônibus e a Logística Urbana de Cargas fracionadas, em busca da comprovação teórica das vantagens idealizadas.
- Estudar a planta geral de locação dos Terminais Periféricos do SIT Uberlândia observando a possibilidade de instalação de Terminais Logístico para distribuição de cargas na região urbana.
- Calibrar um modelo computacional que permita simular configurações de terminais e capacidades de veículos para distribuição de cargas referentes a uma empresa real,

que atende a demandas de pontos de entrega em diversos bairros da cidade.

- Avaliar o benefício da utilização dos terminais periféricos do SIT Uberlândia para a distribuição de cargas secas fracionadas através de simulação computacional utilizando TransCAD.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA DE TRANSPORTE URBANO DE PASSAGEIROS

A Mobilidade Urbana Sustentável pode ser definida como o resultado de um conjunto de políticas de transporte e circulação que visa proporcionar o acesso amplo e democrático ao espaço urbano, através da priorização dos modos não-motorizados e coletivos de transportes, de forma efetiva, que não gere segregações espaciais, socialmente inclusiva e ecologicamente sustentável.

2.1.1 O BRT em Sistema Tronco Alimentador

O acesso a empregos, educação e serviços públicos é parte das necessidades fundamentais para o desenvolvimento humano. Um sistema de transporte público eficiente e de preço justo conecta as pessoas com a vida diária. Um sistema de transporte público de alta qualidade ainda é um elemento indispensável no desenvolvimento de uma cidade onde as pessoas e a comunidade vem em primeiro lugar. O *Bus Rapid Transit* (BRT) se encontra entre um dos mecanismos de custo mais eficiente para as cidades desenvolverem rapidamente um sistema de transporte público que possa se expandir por uma rede completa, bem como promover um serviço veloz e de excelente qualidade. Ainda em seus primeiros anos de aplicação, o conceito de BRT oferece potencial para revolucionar a forma do transporte urbano.

O BRT é um sistema de transporte de ônibus que proporciona mobilidade urbana, rápida, confortável e com custo eficiente através da provisão de infra-estrutura segregada com prioridade de passagem, operação rápida e frequente e excelência em marketing e serviço ao usuário.

O termo BRT surgiu de sua aplicação na América do Norte e na Europa. Entretanto, o mesmo conceito é conhecido no mundo com diferentes nomes, entre eles: Sistemas de ônibus de alta capacidade, sistemas de ônibus de alta qualidade, metro-ônibus, metrô de superfície,

sistemas de ônibus expressos, e sistemas de corredores de ônibus. Ainda que os termos variem de país para país, a mesma premissa básica permanece comum: um serviço de transporte público de alta qualidade, bastante competitivo com carros particulares e a custos acessíveis.

O BRT é cada vez mais reconhecido como uma das soluções mais eficientes para oferecer serviços de transporte de alta qualidade a custos eficientes em áreas urbanas, tanto nos países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento. O aumento da popularidade do BRT como solução viável para a mobilidade urbana é enfatizado pelo sucesso de implementações pioneiras em cidades como Curitiba, Bogotá e Brisbane. O BRT, ao permitir a oferta de uma rede funcional de corredores de transporte público, conseguiu que até mesmo cidades com pouca renda desenvolvessem um sistema de transporte de massas que servisse às necessidades diárias de viagens do público. Entretanto, BRT não diz respeito apenas a transportar pessoas. Antes, o BRT representa um elemento em um pacote de medidas que pode transformar cidades em lugares mais habitáveis. A integração do BRT com o transporte não-motorizado, políticas de uso do solo e medidas de restrição do uso de carros progressivas fazem parte de um pacote de sustentabilidade que pode servir de base para um ambiente urbano saudável e eficiente. Nesse sentido, o BRT representa um pilar em meio a esses esforços para melhorar a qualidade de vida urbana de todos os segmentos da sociedade e, especialmente, para oferecer maior igualdade entre toda a população.

O BRT basicamente imita as características de desempenho e conforto dos modernos sistemas de transporte sobre trilhos, mas a uma fração do custo. Um sistema BRT custa cerca de 4 a 20 vezes menos que um sistema de bondes ou de veículo leve sobre trilhos (VLT) ou entre 10 a 100 vezes menos que um sistema de metrô.

O BRT tem muito mais em comum com sistemas ferroviários, especialmente em termos de desempenho operacional e serviço ao usuário. Em vez de representar uma versão de menor qualidade dos grandes desenvolvimentos ferroviários, BRT é, na verdade, um reconhecimento do que muitos sistemas ferroviários urbanos têm oferecido de melhor até hoje. BRT incorpora os aspectos mais valorizados pelos usuários de VLT e metrô e faz com que esses atributos se tornassem acessíveis para um número maior de cidades. A principal diferença entre BRT e sistemas urbanos ferroviários é simplesmente que o BRT geralmente oferece transporte de alta qualidade a um custo que a maioria das cidades pode pagar. Hoje,

o conceito de BRT está se tornando cada vez mais utilizado pelas cidades que buscam soluções de transportes a custo efetivo. À medida que novos experimentos em BRTs surgem, o estado da arte em BRT indubitavelmente continua a melhorar. Apesar de tudo, o foco no usuário do BRT, certamente, continua a ser sua característica mais marcante. Os desenvolvedores de sistemas BRT de alta qualidade, tais como Bogotá, Brisbane, Curitiba, Ottawa, Quito e Rouen perceberam que o objetivo principal era transportar pessoas com rapidez, eficiência e custo efetivo, e não dar prioridade aos carros.

Outros sistemas avançados de países em desenvolvimento incluem Goiânia (Brasil), Jacarta (Indonésia) e Quito (Equador). Entre os países desenvolvidos, sistemas de alta qualidade foram implementados em Brisbane (Austrália), Ottawa (Canadá) e Rouen (França). No total, aproximadamente 40 cidades em seis continentes já implementaram sistemas de BRT e um número maior de sistemas está em construção ou em planejamento.

A maior vantagem do sistema Tronco-Alimentador é a capacidade de aumentar a quantidade de passageiros por veículo, principal fator na lucratividade do sistema. (WRIGHT, 2008).

Sistemas Tronco Alimentadores são baseados na otimização da utilização de veículos de maior porte em vias troncais, realizando a alimentação do sistema com veículos menores que transitam em vias periféricas. Os usuários transferem-se de veículos alimentadores para veículos troncais em terminais. Os terminais de transferência, um dos principais custos do sistema, são localizados em pontos próximos das vias troncais e também dos centros de atração de demandas periféricas.

2.1.2 Arranjo Institucional

Segundo Ferraz e Torres (2004) no Brasil a Constituição em vigor, promulgada em 05/10/1988, faz referência ao transporte e ao trânsito no artigo 30 inciso V relatando que compete aos municípios, organizar e prestar, diretamente ou sob o regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, inclusive o de transporte coletivo, que tem caráter essencial.

No Brasil foi criado em 2003 o Ministério das Cidades, que é encarregado de políticas para o desenvolvimento das cidades nas áreas de transporte e mobilidade urbana, trânsito, habitação e saneamento, bem como dos programas necessários para a sua execução por meio de suas Secretarias.

A Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana (SeMob), especificamente, é responsável por formular e materializar a Política Nacional de Transportes e da Mobilidade Urbana; apoiar o desenvolvimento institucional, regulatório e de gestão do setor; e coordenar ações para integração das políticas de transporte e da mobilidade urbana e a integração dessas com as demais políticas de desenvolvimento urbano.

Segundo definições da própria SeMob, seus programas visam mudar radicalmente a atuação do Governo Federal, aliando-o aos Estados e Municípios para desenvolver e implementar uma Política Nacional de Mobilidade Urbana Sustentável, centrada no desenvolvimento sustentável das cidades e na priorização dos investimentos federais nos modos coletivos e nos meios não motorizados de transporte.

Através do Ministério das Cidades e da secretaria SeMob, os municípios passaram a pleitear recursos diretamente do Governo Federal para implantação de infra-estrutura de mobilidade urbana.

Em 2007, o SeMob editou o PlanMob - Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana e, em 2012, o Governo Federal instituiu as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana através da LEI Nº 12.587.

Entre as ações definidas no PlanMob encontramos:

- Apoio a projetos de corredores estruturais de transporte coletivo urbano: contempla projetos de implantação, ampliação ou adequação de infraestrutura metro-ferroviária ou viária, que priorizem a circulação do transporte coletivo em relação ao individual, incluindo corredores exclusivos e de transporte coletivo, sistema viário nas áreas centrais, terminais e pontos de parada.
- Apoio à elaboração de projetos de sistemas integrados de transporte coletivo urbano: estimula a elaboração de projetos de sistemas de transporte público intermodais, incluindo a implantação da infraestrutura necessária.

A definição destas ações é especialmente importante para o trabalho realizado, já que direciona os municípios para a implantação de sistemas de transporte público utilizando corredores estruturais e terminais de integração. Como o modelo de financiamento público instituído deve identificar as fontes de recursos existentes nos instrumentos urbanísticos

previstos no Estatuto da Cidade, na Lei de PPPs e Lei de Concessões, o PlanMob pode ser entendido como um guia para definição de um conjunto de obras prioritizadas, serviços e tecnologias necessárias para a efetivação do Plano de Ação e implantação do Sistema de Mobilidade na cidade, já que todo município depende de recursos federais para implementar obras de infraestrutura para mobilidade. Este plano de ação deve contemplar investimentos em infra-estrutura, custeio dos sistemas de transporte coletivo de média e alta capacidades e os investimentos na gestão e regulação do transporte.

2.1.3 Situação Atual

Segundo Oliveira et al. (2013), dentre as transformações vividas no Brasil nos últimos anos, a mobilidade urbana é talvez a mais complexa e que demanda atenção de todos os setores da sociedade. Em função do aumento da população residente nos centros urbanos, que passou de 75% em 1991 para 84% em 2012, houve a diversificação das atividades e consequentemente dos padrões de viagens, tornando a motorização dominante. Observa-se com isso o aumento na quantidade e diversidade de modos de deslocamentos necessários para propiciar a participação da população nas atividades econômicas e sociais.

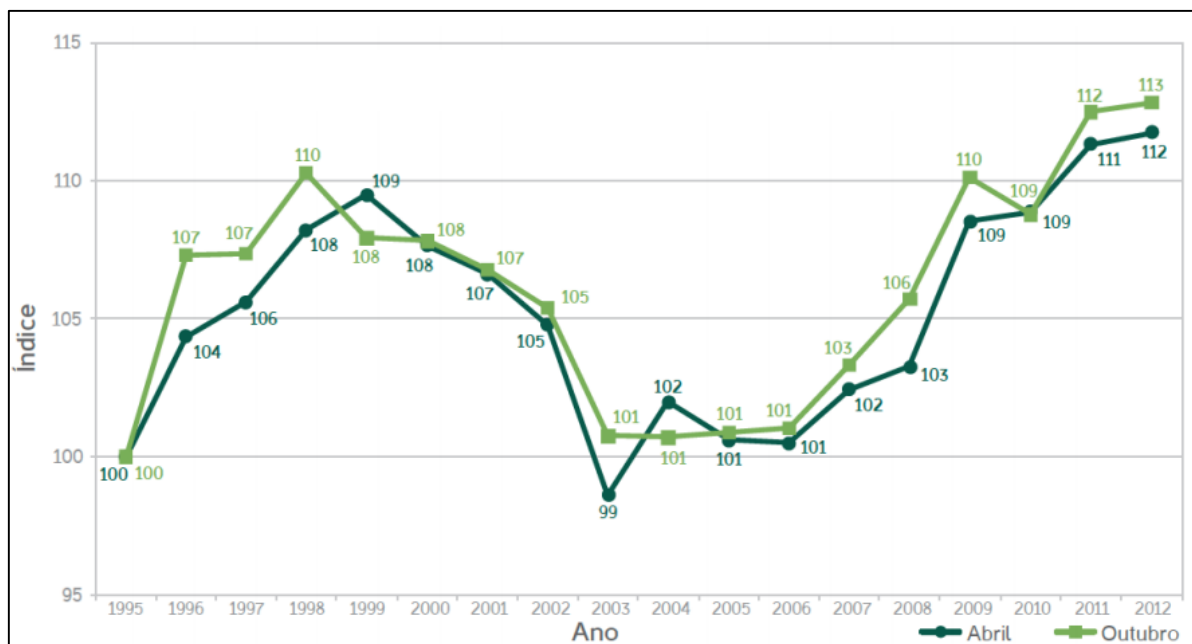
Estima-se que o tempo gasto com mobilidade tenha aumentado 20% entre 2003 e 2010. A população dos municípios com mais de 60 mil habitantes fizeram 61,3 bilhões de viagens em 2011. Isto corresponde a cerca de 200 milhões de viagens por dia. As viagens a pé e em bicicleta foram a maioria totalizando 24,7 bilhões, seguidas pelo transporte individual motorizado em autos e motocicletas com 19,0 bilhões e finalmente as 17,7 bilhões de viagens realizadas pelo transporte coletivo (ANTP, 2011).

Apesar da significativa importância da mobilidade urbana, verifica-se que o transporte coletivo público tem sido preterido em relação ao transporte individual motorizado em grande parte das viagens urbanas, devido aos baixos índices qualitativos referentes a conforto, privacidade, flexibilidade e rapidez. Essa preferência pelo transporte individual colabora para o congestionamento nas grandes cidades gerando um círculo vicioso em que o aumento de veículos piora a circulação dos ônibus, afastando cada vez mais os usuários do transporte público coletivo (RESENDE et al., 2010).

A priorização do transporte público é reconhecida como componente fundamental para garantir a sustentabilidade socioeconômica e ambiental, desempenhando um papel

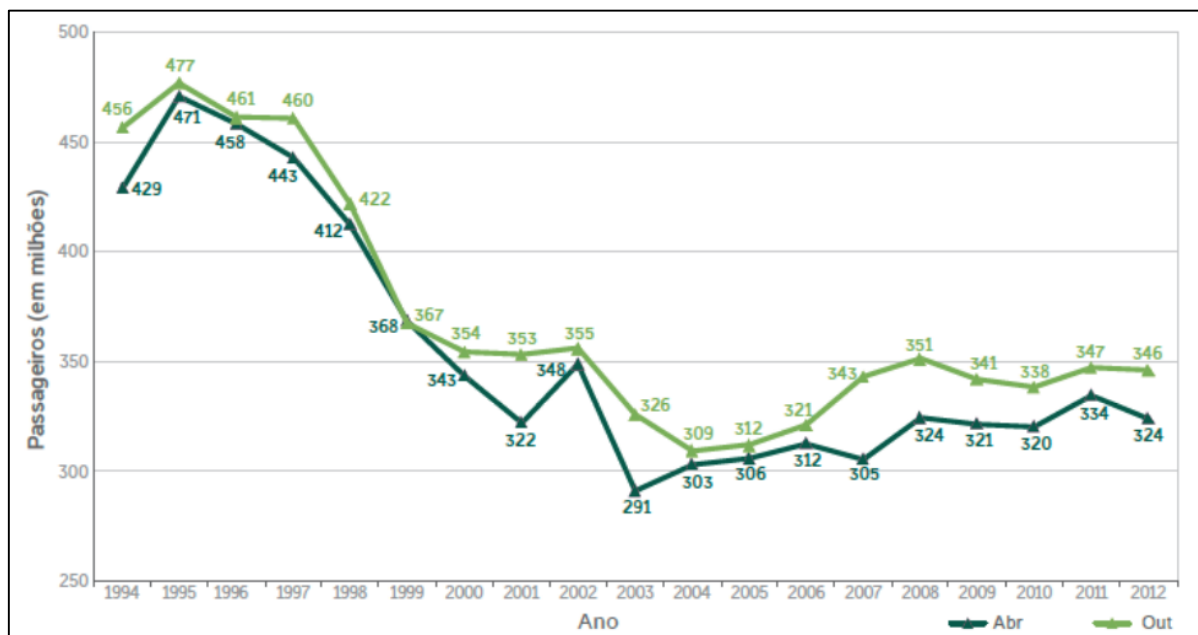
importante na promoção do desenvolvimento econômico das grandes cidades (RESENDE et al., 2010). Dentro do universo do transporte público urbano no Brasil, o modal ônibus é responsável pelo deslocamento de 40 milhões de passageiros diariamente e atende 87% da demanda de transporte público coletivo. Os gráficos a seguir apresentados por Oliveira et al. (2013) mostraram a evolução da frota e demanda por ônibus urbanos no Brasil.

Figura 5 - Índice de Crescimento da Frota de Ônibus Urbanos



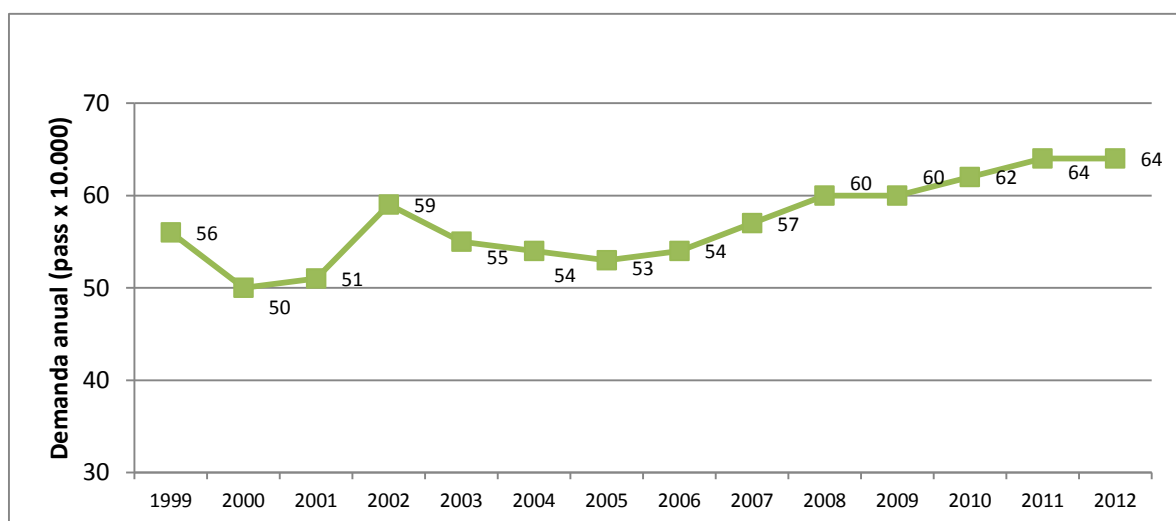
Fonte: Oliveira et al. (2013)

Percebe-se que entre 1999 e 2006 houve o sucateamento da frota, e consequentemente uma redução drástica na demanda. Apenas em 2009 a frota retornou aos índices de 1999, porém entre 1992 e 2007 as vendas de motocicletas foram multiplicadas por 12 e as vendas de automóveis por 4 (VASCONCELOS, 2008). Com isso a população já havia se convertido ao modo motorizado individual, dificultando muito a volta do crescimento da demanda pelo transporte coletivo.

Figura 6 - Demanda de Passageiros em Ônibus Urbanos

Fonte: Oliveira et al. (2013)

Na cidade de Uberlândia, objeto de estudo do trabalho, a demanda não teve uma variação negativa tão grande quanto no restante do Brasil. A implantação do Sistema Integrado de Transportes (SIT) em 1997 e do corredor estrutural João Naves em 2006 contribuíram para o resultado satisfatório em relação ao restante do país, mas a cidade apresenta problemas equivalentes a outros centros no tocante a superlotação em horários de pico e a elevação tarifária.

Figura 7 - Crescimento da Demanda SIT Uberlândia

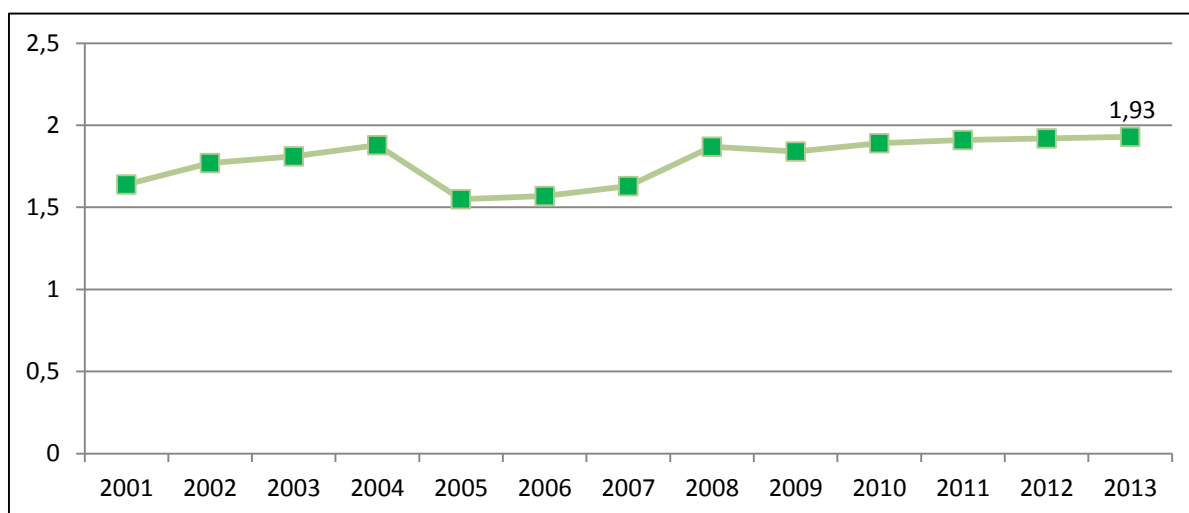
Fonte: SETTRAN Uberlândia (2013)

2.1.4 Índices de Custo do Transporte Público

No Brasil, os custos do transporte público por ônibus são cobertos exclusivamente pela arrecadação tarifária, incluídos nesse contexto os bilhetes de vale-transporte. Exceções que recebem subsídios estatais são raras, como a cidade de São Paulo, que cobre atualmente cerca de 20% do custo do sistema com recursos orçamentários da prefeitura, conforme apresentam os relatórios de despesas e receitas divulgados pela São Paulo Transportes (SPTrans) em seu sítio na internet. O cálculo final da tarifa é um rateio do custo total do transporte entre os usuários pagantes do sistema considerando-se os diversos níveis tarifários. Nos sistemas sem subsídios, como ocorre na maioria das cidades brasileiras, pode-se conceituar a “tarifa de equilíbrio” como aquela cujo valor cobrado dos usuários pagantes assegura uma arrecadação igual ao custo total do sistema em determinado período de tempo. Esse cálculo costuma ser feito na base quilométrica, ou seja, o custo quilométrico dividido pelo número de passageiros pagantes por quilômetro (índice de passageiro por quilômetro – IPK) do sistema. Dessa forma, tanto o aumento do custo de qualquer componente de produção do transporte ou queda na demanda pagante influencia no IPK, conduzindo a um desequilíbrio financeiro do sistema que tende a ser recuperado com o aumento da tarifa (CARVALHO E PEREIRA, 2012).

Em Uberlândia, no cenário estudado pelo trabalho, o IPK está estável em um índice abaixo do ideal, que seria em torno de 2,5 segundo dados da SETTRAN (Secretaria de Trânsito e Transportes) de Uberlândia.

Figura 8 - IPK SIT Uberlândia



Fonte: SETTRAN Uberlândia (2013)

O índice de 1,93 encontrado em Uberlândia é superior ao IPK médio nacional, que é de 1.65 conforme estudo realizado por Oliveira et al. (2013) em 5 capitais.

Ainda segundo Oliveira et al. (2013), o atual modelo de remuneração também onera o serviço de transporte público, pois são poucos os sistemas que possuem fundos extratarifários para compensar as gratuidades ou descontos concedidos a idosos, estudantes, portadores de deficiência, entre outros. Esse custo acaba sendo pago pelo usuário e os impactos na tarifa chegam a até 35%.

2.1.5 Índices de Qualidade

A SETTRAN Uberlândia definiu em edital índices de qualidade a serem monitorados pelas empresas concessionárias.

- Índice de Desempenho Operacional – IDO;
- Índice de Satisfação do Usuário – ISU.

O Índice de Desempenho Operacional (IDO) é composto por 6 sub-índices de avaliação:

- ICV = Índice de Cumprimento de Viagens
- ICF = Índice de Cumprimento de Frota
- ICH = Índice de Cumprimento de Horário
- ICI = Índice de Cumprimento de Itinerário
- IQV = Índice de Quebra de Veículo
- IIF = Índice de Inspeção de Frota

O IDO é então calculado pela seguinte equação:

$$\text{IDO} = 0,25 \times \text{ICV} + 0,10 \times \text{ICF} + 0,20 \times \text{ICH} + 0,20 \times \text{ICI} + 0,10 \times \text{IQV} + 0,15 \times \text{IIF}$$

Apesar de estabelecida a metodologia, falta a definição de metas pela SETTRAN, o que impede uma correta avaliação da qualidade do serviço.

Ferraz e Torres (2004) elaboraram uma lista mais completa, com doze itens de avaliação: Acessibilidade, frequência de atendimento, tempo de viagem, lotação, confiabilidade, segurança, características dos veículos, características dos locais de parada, sistema de informação, conectividade, comportamento dos operadores e estado das vias.

Existem trabalhos realizados por Araújo (2008) e Rodrigues e Serratini (2008) considerando os dois conjuntos de índices de qualidade para avaliação do SIT Uberlândia. No trabalho realizado por Araújo (2008) foram encontrados índices de IDO acima de 80%. Também foi

realizada uma entrevista com 3.305 usuários do Corredor Estrutural João Naves. A tabela abaixo mostra o resultado dos principais problemas apontados:

Tabela 2- Corredor Estrutural João Naves: principais problemas para os usuários

Problemas	Quantidade	%
Superlotação nos ônibus	907	27,4
Preço da passagem	546	16,5
Tempo de espera	440	13,3
Atraso dos ônibus	282	8,5
Freadas bruscas	256	7,7
Fiscalização pouco atuante	213	6,5
Ônibus sujo e mal conservado	212	6,4
Falta de cordialidade	159	4,8
Excesso de velocidade	136	4,1
Falta de troco	88	2,7
Poucas opções de deslocamento	51	1,6
Outros	15	0,5
Total	3305	100

Fonte: Araújo (2008)

O trabalho de Rodrigues e Sorratini (2008) utilizou apenas a entrevista com usuários para avaliar a qualidade do Sistema Integrado de Transportes em Uberlândia. A tabela abaixo mostra o resultado do nível de satisfação dos usuários em cada um dos 12 indicadores avaliados:

Tabela 3 - Análise dos indicadores com base em padrões de qualidade no SIT

Indicador	Satisfação Plena	Satisfação média	Insatisfação
1. Acessibilidade	64%	22%	14%
2. Frequência de atendimento	32%	28%	40%
3. Tempo de viagem	33%	35%	32%
4. Lotação	6%	12%	82%
5. Confiabilidade	23%	31%	46%
6. Segurança	47%	24%	29%
7. Características dos veículos	27%	30%	43%
8. Características dos locais de parada	39%	15%	46%
9. Sistema de informação	10%	15%	75%
10. Conectividade	24%	39%	37%
11. Comportamento dos operadores	46%	32%	22%
12. Estado das vias	49%	29%	22%

Fonte: Rodrigues e Sorratini (2008)

Em ambos os trabalhos encontramos a superlotação como o fator preponderante de insatisfação dos usuários.

A insatisfação apresentada no item Lotação é preocupante se for avaliada em conjunto com o indicador de custos do Sistema, o IPK. Podemos concluir com base nos indicadores de custos e qualidade do SIT Uberlândia que apenas ações inovadoras poderão reverter a situação, já que o modelo atual não consegue satisfazer nem as empresas concessionárias, nem o usuário do transporte público.

2.2 LOGÍSTICA URBANA

2.2.1 Conceituação de Logística

Logística é o processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente o fluxo e a armazenagem de produtos, bem como os serviços e informações associadas, cobrindo desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender aos requisitos do consumidor. (BANDEIRA, 2006)

A logística nos últimos anos vem passando por um período de mudanças substanciais, tanto em termos de práticas empresariais (um dos elementos chaves na estratégia competitiva) quanto de eficiência, qualidade e disponibilidade de infra-estrutura de transportes e comunicações, elementos fundamentais para uma logística moderna, e principalmente “competitiva”. É um ponto vital na cadeia produtiva integrada, atuando em conformidade no Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (SCM - *Supply Chain Management*). Com a crescente e presente instrumentalização de sistemas de logísticas, foram criados novos conceitos a fim de reduzir custos e melhorar o nível de serviço com o consumidor final. (NOVAES, 2007)

Empresas de grande porte preferem a adoção de sistemas próprios de entregas até o destino final, que pode ser o consumidor ou um comércio varejista, inclusive em trechos urbanos. Porém, o crescimento do comércio eletrônico tem gerado a tendência de utilizar serviços logísticos terceiros de entrega rápida e transportadoras de carga fracionada dentro de cidades e regiões metropolitanas. Nos Estados Unidos o crescimento desta forma de distribuição possibilitou às empresas reduzirem significativamente seus estoques, concentrando os

produtos em centros de distribuição e posteriormente utilizando serviços de entrega rápida em áreas urbanas. (NOVAES, 2007)

2.2.2 Logística Urbana de Cargas

O crescente impacto negativo da distribuição de cargas na malha viária de grandes cidades, como o aumento de congestionamentos e poluição, impulsionou os estudos na área de Logística Urbana. Taniguchi *et al.* (2001) definem a Logística Urbana, segundo os autores, como sendo o processo para a completa otimização das atividades de transportes pelas companhias privadas em áreas urbanas. Thompson (2003) afirma que a Logística Urbana se trata de um processo de planejamento integrado para distribuição de carga urbana, baseado em uma abordagem sistêmica que promovem esquemas inovadores, para reduzir o custo total (incluindo os econômicos, sociais e ambientais) dos movimentos de carga dentro das cidades. Permitem, ainda, a estimação de uma estrutura para planejadores de cidades, onde os impactos dos esquemas da logística urbana envolvem, normalmente, o estabelecimento de parcerias entre os setores público e privado. No início da década passada países como Alemanha e Japão trilharam uma mudança radical na estratégia de logística urbana implementando Terminais Logísticos Públicos (HASSAL, 2005).

No Brasil, o investimento em infraestrutura de terminais urbanos de cargas é realizado de forma isolada por empresas privadas, impedindo que o conceito seja ampliado no sentido de reduzir ainda mais os impactos negativos causados pela distribuição urbana de cargas. Taniguchi (2001) indica a construção de Terminais Logísticos Públicos como uma solução para proporcionar um sistema logístico de cargas mais eficiente e que promova ganhos tanto para as empresas quanto para a sociedade em geral.

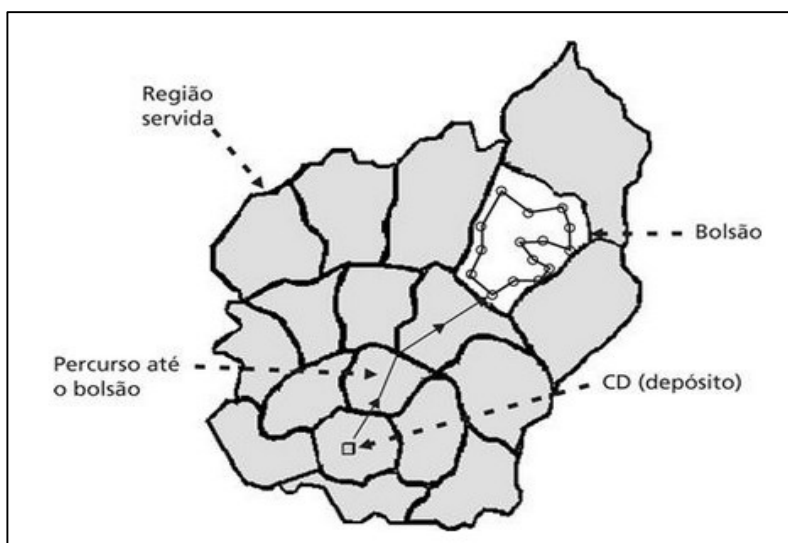
2.2.3 Terminais Logísticos Urbanos

Um Terminal pode ser definido como uma facilidade onde cargas e passageiros são agrupados e despachados. Basicamente, terminais de passageiros e cargas se distinguem nos equipamentos e infraestrutura específica requerida. Terminais de passageiros requerem poucos equipamentos devido ao fato de que cada passageiro é seu próprio tomador de decisões e permanece pouco tempo no transbordo, mas é importante que a infraestrutura propicie um fluxo apropriado para demandas que variam ao longo do dia. Já as cargas requerem equipamentos para carga, transporte interno e descarga dia (RODRIGUE ET AL., 2006).

Os terminais de carga fornecem espaços para abrigar as mercadorias até que sejam transferidas para lojas ou entregues aos clientes. As instalações fixas, como armazéns ou Centros de Distribuição (CD), são providas de facilidades para descarga dos produtos, transporte interno e carregamento dos veículos de distribuição. Os veículos, no caso de abastecimento de lojas, normalmente são menores devido as condições de trânsito, facilidade de manobras e frequência de entregas. (NOVAES, 2007).

A distribuição a partir de um CD até os pontos comerciais é realizada tipicamente em um esquema de distribuição “um para muitos”, sendo que o veículo parte do depósito carregado e percorre uma distância “d” até a zona de entrega. Dentro da zona de entrega, o veículo realiza visitas efetuando coletas e entregas. Terminado o serviço, retorna ao CD, percorrendo novamente uma distância “d”. O esquema pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 - Esquema típico de distribuição "um para muitos"



Fonte: Novaes (2007)

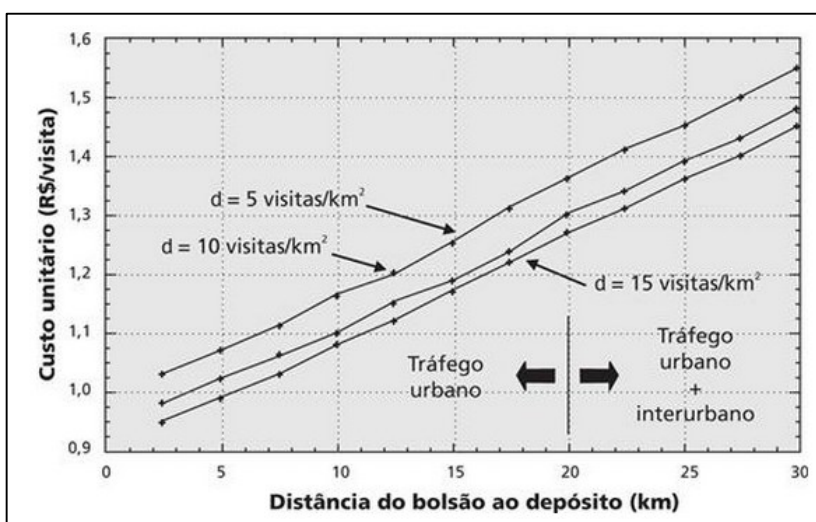
Na escolha do veículo ideal para distribuição “um para muitos” destacam-se cinco fatores:

- Distância da zona de entrega até o CD;
- Densidade espacial, medida em número de pontos de entrega na zona;
- Tempo médio de parada em cada cliente a ser realizada a entrega;
- Quantidade de mercadoria entregue em cada cliente;
- Velocidade média de percurso.

A associação das características dos veículos e da janela de tempo disponível para as entregas determina a definição do roteiro de distribuição. A situação ideal é aquela que leva a um equilíbrio onde o veículo é plenamente utilizado na sua capacidade ao mesmo tempo em que trabalha durante todas as horas disponíveis na janela de entregas, minimizando assim o custo global da entrega.

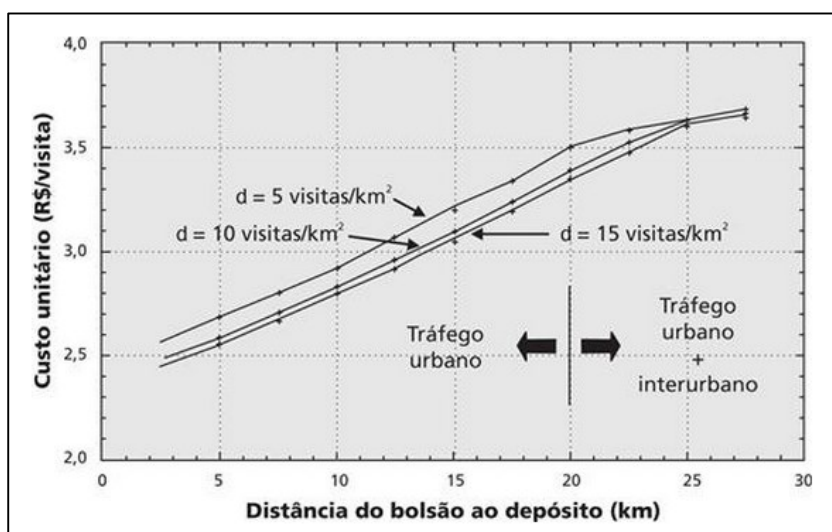
Novaes (2007) realizou dois exemplos do cálculo de custos na distribuição “um para muitos”. Os exemplos diferem na valoração dos cinco fatores citados para a escolha do veículo ideal, e consequentemente da roteirização ótima. O resultado gerou dois gráficos a partir dos dados calculados nos exemplos valorados para entrega de bebidas e de pacotes.

Figura 10 - Custo unitário para entrega de pacotes



Fonte: Novaes (2007)

Figura 11 - Custo unitário para entrega de bebidas



Fonte: Novaes (2007)

A Tabela 4 - Custo por entrega permite analisar a variável “Distância entre o CD e a Zona”, tabulando dados dos gráficos da Figura 10 e da Figura 11.

Tabela 4 - Custo por entrega para tipos de entrega e distância entre CD e Zona

<i>Fatores</i>	<i>Entrega de bebidas</i>	<i>Distribuição de pacotes</i>
Quantidade por entrega (kg)	160	5
Densidade (entregas/km ²)	5	15
Capacidade do veículo (kg)	7.800	500
Tempo médio (minutos)	12	7
Velocidade média urbana (km/h)	35	35
Distância entre CD e Zona (km)	2,5 a 15	2,5 a 15
Custo unitário (R\$/entrega)	2,6 a 3,2	0,95 a 1,8

Fonte: Adaptado pelo autor de Novaes (2007)

Com a distância entre o CD e a Zona de entrega aumentando de 2,5 km até 15 km, o custo unitário por entrega de bebidas e de pacotes cresceu de 23% a 89% respectivamente, demonstrando que a proximidade entre o CD e a Zona de entrega é um fator preponderante para redução dos custos de entregas urbanas.

2.2.4 Operação de Terminais de transferência

O *Cross Docking* é um processo de distribuição onde os volumes de um veículo são recebidos, separados e encaminhados para outro veículo com um tempo de armazenagem mínimo possível.

Uma aplicação muito comum do *cross docking* (que literalmente designa "atravessamento de docas"), é na execução de entregas em centros urbanos, onde a circulação de veículos de grande porte sofre restrições sobre a sua dimensão e peso, impedindo-os de efetuar as entregas. Tais veículos descarregam seus produtos em um armazém, os produtos são

separados dentro de um armazém mínimo, e em seguida carregam outro veículo de menor porte, que efetuará as entregas.

2.2.5 Entrega não assistida

No comércio de mercadorias entregue diretamente ao cliente, chamado *Business to Consumer* (B2C), existem dois tipos de sistemas de recepção de cargas: o dito convencional (assistida), que requer alguém para recepcionar a mercadoria, e o não-convencional (não-assistida), que dispensa essa presença (DUTRA, 2004).

Com o crescimento do comércio eletrônico, empresas tem instalado na América do Norte, Ásia e Europa o conceito de entrega não assistida automatizada para resolver o problema da última milha. A instalação de “armários inteligentes” é feita em locais de grande circulação, e funcionam quase sempre 24 horas por dia, 7 dias por semana. O espaço é então negociado com empresas de distribuição para que os consumidores possam retirar suas encomendas sem a necessidade do transporte até a residência do comprador.

Além do B2C, a solução de entrega não-assistida pode ser adaptada para o comércio entre negócios, chamado B2B (*Business to Business*). O perfil de cargas secas fracionadas permite que, empresas de distribuição aluguem estandes com acesso controlado eletronicamente (fechaduras com senha) para realização de entrega não assistida de volumes.

A solução mostra-se viável para entregas que necessitam urgência, e o destinatário opta por retirar sua carga antes que a parte urbana do transporte seja realizada. Exemplos de demanda são comércios de informática e oficinas de manutenção veicular, onde a diversidade de tecnologias impede que se mantenham estoques de pronta-entrega, mas ao mesmo tempo é necessário atender ao cliente no menor tempo possível, trazendo produtos de grandes centros até o mercado local. Neste caso a utilização de “armários inteligentes” pode suprir demandas tanto de consumidores quanto estabelecimentos comerciais que revendem, por exemplo, equipamentos e suprimentos de informática, papelaria, autopeças, fármacos entre outros produtos que tem uma demanda variável e possui pequenas dimensões.

As instalações para entrega não assistida podem ocupar áreas relativamente pequenas, sendo adaptáveis aos espaços existentes para implantações comerciais nos Terminais do SIT Uberlândia. Na Figura 12 pode ser vista uma opção de Armário Inteligente para última milha.

Figura 12 - Armários Inteligentes para Última Milha

Fonte: Dutra (2004)

Neste trabalho, o Armário Inteligente é indicado para ser utilizado por estabelecimentos comerciais como uma caixa postal para cargas. Após a descarga de veículos de grande porte nos Armários Inteligentes instalados nos Terminais Periféricos do SIT Uberlândia, as ordens de entrega seriam enviadas junto com a senha para abertura da caixa postal, seja para o consumidor final, seja para o estabelecimento comercial. Devido as características das cargas estudadas, seria possível um funcionário do estabelecimento comercial realizar a recepção não-assistida do pacote utilizando para isso o transporte coletivo. Dessa forma seria possível o estabelecimento comercial adiantar a recepção do produto, sem depender da rota planejada pela transportadora. Em uma outra opção, uma frota autônoma de veículos alternativos (elétricos, bicicletas) realizariam a coleta e distribuição das mercadorias até os comércios ou consumidores.

2.3 TRANSCAD

O TransCAD é um *software* de planejamento de transportes com plataforma de Sistema de Informações Geográficas (SIG), ou mais especificamente uma plataforma SIG-T (Sistema de Informação Geográficas para Transportes), desenvolvido especificamente para utilização por profissionais de transporte para armazenar, visualizar, manipular e analisar dados relativos ao transporte.

As informações no TransCAD são armazenadas em banco de dados, cuja interface para entrada, leitura e edição das tabelas é chamada de *Dataview*. No caso específico, entende-se por *Dataview* dos Depósitos a tabela onde são armazenadas os dados referentes a localização e descrição dos Depósitos a serem utilizados no roteamento (terminais periféricos do SIT) e *Dataview* de Entregas a tabela onde são armazenadas os dados referentes a localização, demanda e outras informações restritivas descritas a seguir, de cada entrega constante na lista de despachos.

Segundo Paula (2010), para o uso do TransCAD, com o objetivo de se empregar a ferramenta de problema clássico de transportes e roteirização de veículos, faz-se necessário criar uma rede de trabalho, tratada pelo *software* como Network. Por meio do TransCAD, é possível configurar a rede de trabalho (*network*) que, posteriormente, possibilitará a utilização de procedimento de roteirização de veículos de carga. Essa rede de trabalho é um dado estrutural do *software* que possibilita armazenar características do sistema de transporte e das instalações representada com base na teoria dos grafos, onde há a presença de nós (*endpoints*) demarcando os encontros de vias, o que permite a mudança de direção nesses nós, e arcos (*links*) orientados que seguem os sentidos das vias da rede viária.

Neste trabalho foram realizadas duas etapas de otimização utilizando o TransCAD:

1. **Problema Clássico de Transportes:** definição de quais Depósitos (ou Terminais Periféricos) devem atender a cada entrega constante na lista de despachos.
2. **Roteamento de Veículos:** definição da frota e rotas ideais para atendimento às demandas.

No uso do módulo de roteirização de veículos do TransCAD podemos apontar quatro etapas:

- **Preparação da entrada de dados:** criar arquivos geográficos que mostrem as localizações de cada depósito e paradas, junto com a informação sobre a demanda e outras características de cada um;
- **Criação da matriz de roteirização:** criar um arquivo matriz (*matrix file*) que contém a distância ou tempo de viagem entre cada parada;
- **Resolução do problema de roteirização de veículos:** desenvolver rotas eficientes para atendimento as demandas;
- **Apresentação dos resultados:** exposição de relatórios de itinerários e relatórios resumidos e exposição de rotas de veículos com as quais pode-se visualizar os resultados no mapa.

A roteirização do TransCAD leva em consideração alguns parâmetros restritivos:

- **Depósitos específicos:** é preciso definir no *Dataview* de Entregas qual depósito irá atendê-la. Esta informação foi definida de forma otimizada durante a solução do Problema Clássico de Transportes.
- **Janela de tempo:** é preciso definir nos *Dataviews* de Entregas e de Depósitos as janelas de tempo que cada um funcionará. Esta informação é importante para que o roteamento utilize o recurso necessário dentro dos horários de funcionamento do comércio ou horário de trabalho do motorista.
- **Tempo fixo por entrega (*fixed time*):** é o tempo mínimo necessário para operações de estacionamento e conferência de nota fiscal, independente da quantidade de carga descarregada. Cada entrega pode ter diferentes tempos fixos editados no *Dataview* de Entregas.
 - o **Tempo unitário por unidade (*unity time*):** é o tempo médio necessário para descarga de uma unidade de mercadoria. Cada entrega pode ter diferentes tempos unitários editados no *Dataview* de Entregas.
- **Capacidades da frota:** define a quantidade de veículos e suas capacidades de carga. É editado apenas na tela de roteirização.

CAPÍTULO 3

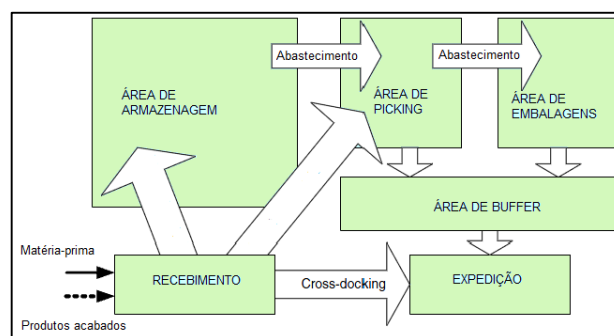
MÉTODO PROPOSTO

O método proposto apresentado neste capítulo mostra os instrumentos a serem empregados na investigação e solução do problema proposto, e será estruturada da seguinte forma: Dimensionamento de Terminais de Carga, Problema Clássico de Transportes e Roteirização de Veículos.

3.1 DIMENSIONAMENTO DE TERMINAIS DE CARGA

Em um CD, normalmente, existem áreas funcionais com fluxos pré-definidos conforme representado na Figura 13. Na área de recebimento, os materiais são descarregados de caminhões em docas e inspecionados para verificar se a qualidade e suas quantidades estão corretas. Em seguida os itens são transferidos para zonas de armazenagem ou são colocados diretamente na área de expedição, em uma operação chamada *cross-docking*. As zonas de armazenagem podem ser divididas em dois tipos: área de armazenagem e área de *picking*. A área de armazenagem é onde os materiais aguardam até o momento em que forem requeridos pelos clientes. A área de *picking* na maioria das vezes é usada para armazenar materiais que serão movidos rapidamente. Em alguns casos é necessária uma área exclusiva para embalar os produtos armazenados (SBARDELOTTO, 2010).

Figura 13 - Áreas funcionais em um armazém



Fonte: Sbardelotto (2010)

3.1.1 Área de recebimento/expedição

O dimensionamento da quantidade e posição das entradas e saídas de cargas de um terminal impactam diretamente nas distâncias e no tempo de deslocamento dos funcionários, na localização interna dos itens armazenados, nos congestionamentos e nas direções dos fluxos das movimentações internas.

Os pontos de entrada e saída podem estar em diversos locais do terminal, por exemplo em lados opostos, perpendicularmente posicionados, no mesmo lado ou até mesmo compartilharem a mesma posição (SBARDELOTTO, 2010)

As cargas são descarregadas e carregadas em veículos. Os pontos de acesso aos veículos, que são as entradas e saídas do terminal, são chamadas de docas. Para o dimensionamento das docas é importante conhecer a quantidade e tipos de veículos, o tempo necessário para carga e descarga dos produtos (giro de docas) e a quantidade de cargas a serem manuseadas rotineiramente na operação do terminal (IGNÁCIO E YANSEN, 2010). A quantidade de docas necessárias para pode ser calculada pela fórmula:

$$\text{QUANTIDADE DE DOCAS} = D / (T / G)$$

Onde

- D: quantidade de veículos a serem carregados ou descarregados por dia,
- T: janela de tempo em horas disponível para operação de carga e descarga,
- G: giro de docas, ou tempo necessário para operação de carga/descarga de um veículo completamente carregado

3.1.2 Área de Armazenagem

Um elemento crítico do dimensionamento do terminal é a determinação da necessidade de espaço para estocagem de cargas durante o período entre a descarga e a carga para continuidade do transporte. Após ter uma completa descrição dos materiais a serem armazenados, incluindo dimensões, pesos, quantidades médias e máximas, é preciso definir o tipo de armazenagem a ser implantada. Consideramos neste trabalho três formas, conforme descrito por Ignácio e Yansen (2010): armazenagem aleatória, armazenagem dedicada e armazenagem por classes.

A armazenagem dedicada representa o modelo em que cada unidade a ser estocada tem sua posição sempre definida baseado em alguma condição específica. Na armazenagem aleatória, as unidades são armazenadas em qualquer lugar disponível dentro da área de armazenagem. A armazenagem por classes define uma área específica para cada condição da unidade a ser estocada, e dentro da área pode acontecer a armazenagem aleatória.

A armazenagem dedicada ou por classes reduz a movimentação de materiais, mas necessita de um espaço maior de estoque para evitar a superlotação da área. Em contrapartida, a armazenagem aleatória não precisa de muito espaço, mas a movimentação das cargas tende a ser maior.

Existem várias ferramentas para movimentar e estocar cargas. A escolha depende do tipo de produto, da estabilidade da carga, do giro do estoque e da avaliação de custos entre equipamentos e mão-de-obra. Quanto a forma de estocagem, os três métodos básicos são: empilhamento no piso, estrutura porta-paletes e estocagem de alta elevação.

Além da forma de estocagem e movimentação é importante dimensionar o número, a localização, a orientação, o comprimento e a largura dos corredores de movimentação do terminal. Somente após conhecidos todos os parâmetros citados, que são as posições das docas, a demanda em metros cúbicos, a forma de estocagem e equipamentos utilizados para armazenagem e movimentação, é possível dimensionar a área de armazenagem.

3.1.3 Área de *picking*

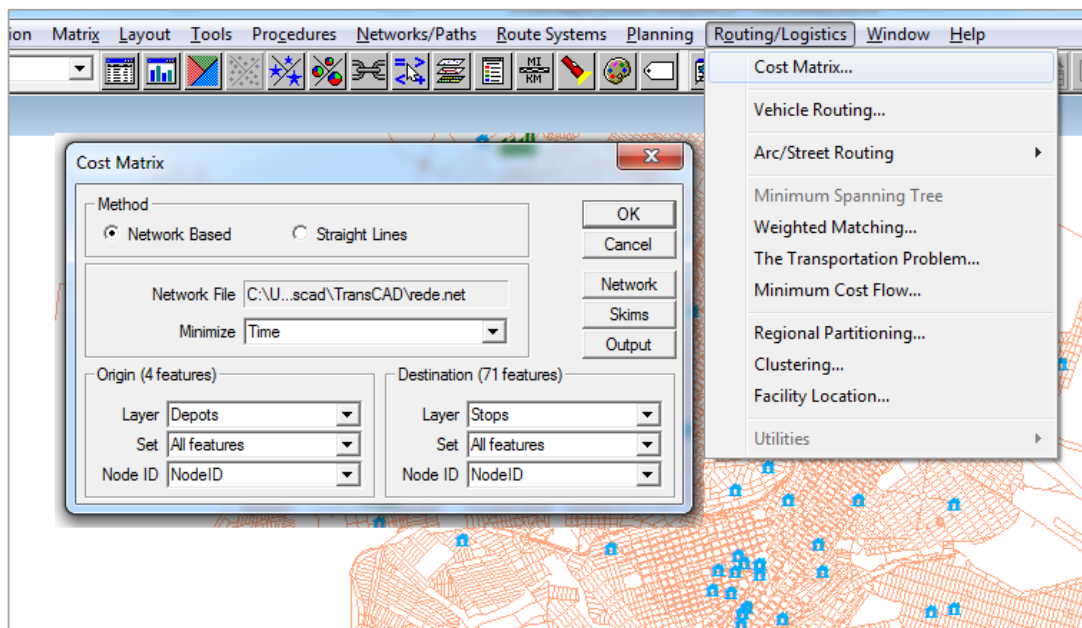
A seleção e retirada dos produtos armazenados para serem despachados para o cliente é a operação que mais consome mão-de-obra em um armazém (TOMPSON et al., 2003). A área de *picking* deve ser um local onde os produtos são armazenados em pequenas quantidades para facilitar o acesso e diminuir a movimentação. Dependendo das características de giro dos produtos a área necessitará de reabastecimento. O dimensionamento deve ser feito de forma que o reabastecimento ocorra em horários em que não houver atividade de *picking* acontecendo.

3.2 PROBLEMA CLÁSSICO DE TRANSPORTES

O Problema Clássico de Transportes, ou *The Transportation Problem* em inglês, é uma subclasse da programação linear onde o objetivo é transportar várias quantidades de um produto homogêneo que está inicialmente estocado em vários pontos de origem para diferentes destinos, de forma que o custo total do transporte seja minimizado. Para atingir este objetivo é necessário conhecer a quantidade e localização dos pontos de origem e de destino, e as demandas de cada destino. Além disso é preciso conhecer a matriz de custos para transportar uma unidade do produto entre todas as origens e todos os destinos.

Para resolver o Problema Clássico de Transportes no *software* TransCAD, após terem configuradas a rede de trabalho e os *layers* contendo as origens e destinos, o primeiro passo é gerar uma matriz de custos entre os nós analisados, utilizando-se a ferramenta *Cost Matrix*, como apresentados na Figura 14.

Figura 14 - Matriz de Custos para "The Transportation Problem"

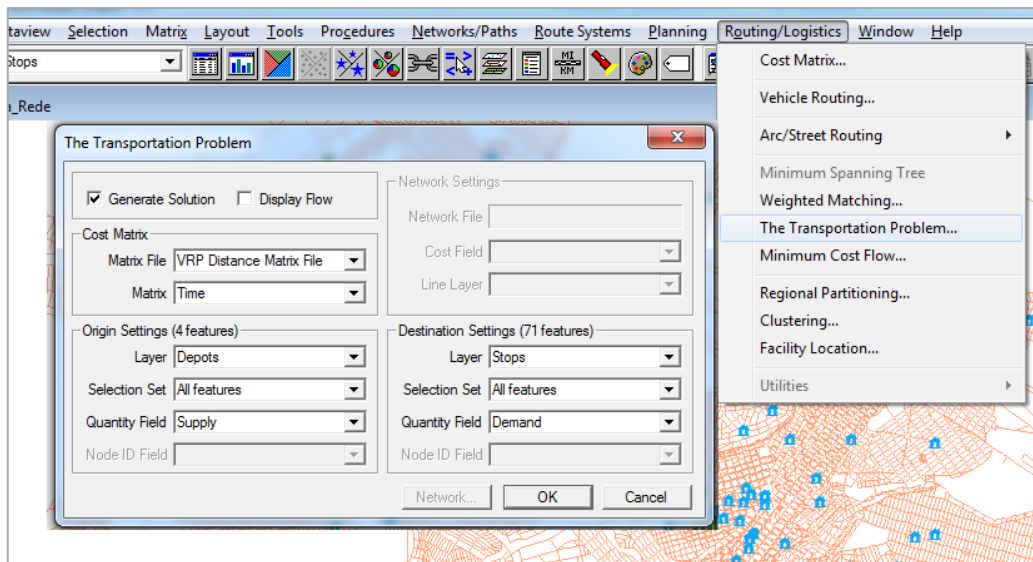


Fonte: O Autor

A matriz resultante apresenta o custo mínimo, em relação ao tempo de percurso, para cada origem e cada destino incluído no projeto. Após gerada a matriz de custo, a ferramenta “The Transportation Problem” pode ser aplicada. Para utilizar esta ferramenta é importante definir a capacidade de suprimento de cada origem preenchendo o campo ‘supply’ do *Dataview*

correspondente ao *layer* “Depots”. A Figura 15 apresenta a ferramenta “*The Transportation Problem*”.

Figura 15 - *The Transportation Problem* - TransCAD



Fonte: O Autor

O resultado da aplicação desta ferramenta é uma matriz indicando quais origens, ou terminais, devem atender as demandas de cada destino, ou ponto de entrega, em *.MTX (matriz do TransCAD). O formato da matriz gerada está apresentada na Figura 16.

Figura 16 - Solução do *Transportation Problem*

	1	2	3	4	5	6	7
2	--	--	--	--	--	--	4.00
3	12.00	--	--	--	--	--	--
4	--	--	--	--	73.00	--	--
5	--	15.00	4.00	39.00	--	36.00	--

Esta matriz deve ser exportada para um formato que permita a manipulação dos dados (TransCAD -> *Matrix* -> *Export* formato texto). A partir dela, o campo *Depot* do *Dataview* de Entregas será atualizado, indicando para a ferramenta de roteamento do *software* TransCAD qual Terminal atenderá cada ponto de entrega.

3.3 ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULOS

Segundo Paula (2010) o termo roteirização, embora não encontrado nos dicionários de língua portuguesa, é a forma utilizada como equivalente ao inglês *routing* para designar o processo de determinação de um ou mais roteiros ou sequências de paradas a serem cumpridos por veículos de uma frota, objetivando visitar um conjunto de nós geograficamente dispersos, em locais pré-determinados, que necessitam de atendimento.

Para o problema de roteirização de veículos, o *software* TransCAD possui um módulo específico que resolve diversos tipos de problemas, atuando na fase preliminar de preparação dos dados, na resolução do problema de roteirização e programação de veículos e na elaboração das rotas, tanto na forma de relatórios quanto na forma gráfica.

A ferramenta de roteirização do TransCAD depende de uma *Network* contendo os arcos e nós de uma rede viária onde o problema será resolvido, e de 2 *layers*, contendo atributos referentes às origens (depósitos) e aos destinos (pontos de entrega) conforme a Figura 17.

Figura 17 - Atributos do *layer* de pontos de entrega

Field Name	Type	Width	Decimals	Index
Close Time	Integer (4 bytes)	8		
Open Time	Integer (4 bytes)	8		
Demanda	Integer (4 bytes)	8		
Fixed Time	Integer (4 bytes)	8		
Unit Time	Integer (4 bytes)	8		
NodeID	Integer (4 bytes)	8		
Field_6	Integer (4 bytes)	8		

Field Storage Information

Name: ☐ Index

Type: Width: Decimals:

Default:

Field Display Settings

Width: Format: Decimals:

Display Name:

Description:

Record Information

☐ Add Records

Buttons on the right: OK, Cancel, Add Field, Drop Field, Move Up, Move Down, Attach Codes, Drop Codes, Export Codes, Aggregation

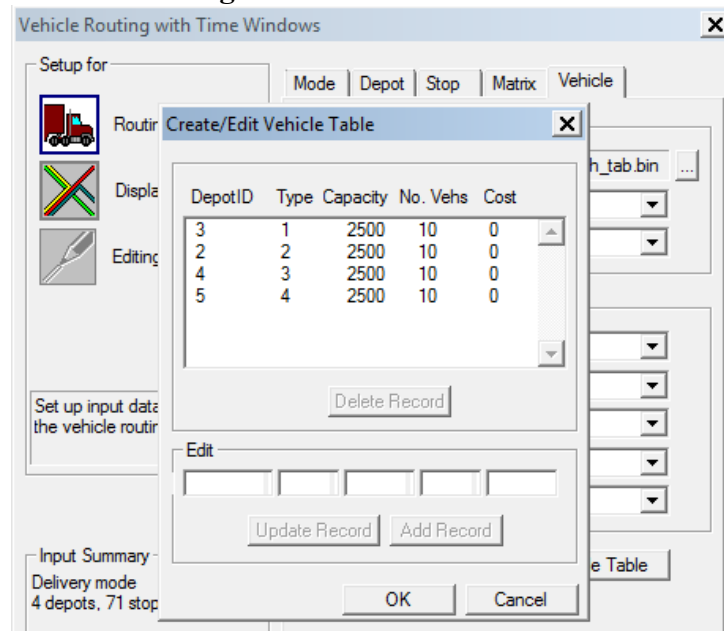
Fonte: Paula (2009)

Os atributos que devem ser preenchidos são:

- **ID:** número de identificação que relaciona o ponto (latitude, longitude) a uma entrega contida na base de dados.
- **NodeID:** vincula o ponto de *layer* ao nó (*endpoint*) mais próximo da rede (*network*). As simulações realizadas pelo *software* TransCAD são baseadas nos nós da rede.
- **Demand:** aplicável ao *layer* “*Stops*”, define a demanda de entrega que deve ser feita no ponto durante a roteirização. No caso em estudo a demanda está definida em quilogramas.
- **Supply:** aplicável ao *layer* “*Depots*”, define a capacidade do Depósito durante a aplicação da ferramenta “*The Transportation Problem*”. No caso em estudo, a capacidade está definida em quilogramas.
- **Open Time:** hora de início de funcionamento do ponto para entrega de mercadorias, no caso de ponto de entrega, e para saída/retorno de veículos no caso do CD.
- **Close Time:** hora final de funcionamento do ponto para entrega de mercadorias, no caso de ponto de entrega, e para saída/retorno de veículos no caso do CD.
- **Fixed Time:** aplicável ao *layer* “*Stops*”, define o intervalo de tempo fixo para realizar a entrega no ponto, independente da demanda, relativos, por exemplo, à dificuldade de estacionar e a conferência de documentação de carga e descarga. Pode ser definido um tempo fixo diferente para cada ponto de entrega.
- **Unity Time:** aplicável ao *layer* “*Stops*”, define o intervalo de tempo gasto por unidade a ser entregue no ponto, tornando o tempo total de entrega proporcional à quantidade descarregada. Os campos *fixed time* e *unity time* foram calibrados no item “Calibração dos tempos de entrega”.
- **Depot:** aplicável ao *layer* “*Stops*”, designa o depósito que atende a demanda do ponto de entrega. No caso em estudo, o CD é definido pelo algoritmo “*The Transportation Problem*”, no item “Problema Clássico de Transportes utilizando Terminais Periféricos”.

Na tela da ferramenta *Vehicle Routing* devem ser definidos as abas referentes ao modo de operação, *layer* e atributos de origem e paradas, e os veículos disponíveis em cada origem para realizar o transporte das cargas, e suas respectivas capacidades, conforme a Figura 18

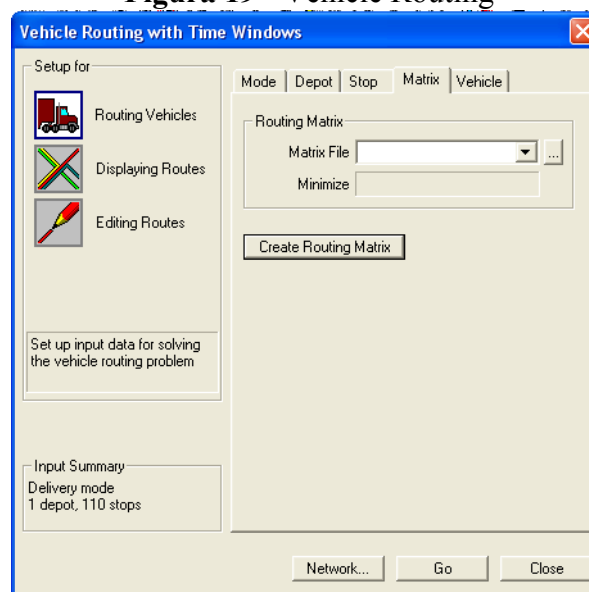
Figura 18 – “Vehicle Table”



Fonte: O Autor

Finalmente, deve ser criada a matriz de custos entre os nós da rede viária e gerar a roteirização através do botão “Go”, conforme a figura 19

Figura 19 - Vehicle Routing



Fonte: o Autor

CAPÍTULO 4

ESTUDO DE CASO

Neste capítulo estudou-se a o dimensionamento e a viabilidade da implantação de Terminais Logísticos Mínimos em áreas livres dos terrenos dos Terminais Periféricos do Sistema Integrado de Transportes (SIT) de passageiros em Uberlândia - MG. Em seguida, através de simulação computacional utilizando o *software* TransCAD, foi analisada a utilização de Centros de Distribuição (CD) geograficamente instalados junto aos Terminais do SIT Uberlândia, buscando atender à demanda diária de uma empresa que realiza entregas de cargas secas (caixas) em estabelecimentos comerciais de Uberlândia – MG.

4.1 DIMENSIONAMENTO DO TERMINAL LOGÍSTICO MÍNIMO

O dimensionamento do armazém a ser instalado em áreas comuns aos Terminais Periféricos do SIT Uberlândia deve levar em consideração que a área disponível é reduzida e não conhecida e diferente para cada terminal. Com isso é necessário dimensionar uma estrutura mínima que possa ser replicada em diferentes espaços de forma modular, ou seja, Terminais com maior área livre comportariam mais módulos do Terminal Logístico Mínimo a ser dimensionado.

4.1.1 Operação do Terminal

O Terminal deve atender a demanda da empresa real que forneceu os dados para este estudo, que distribui diariamente cerca de 6.200 kg de carga seca fracionada divididas em volumes de até 40kg.

O Terminal será utilizado o mais próximo possível de uma operação de *Cross-docking*, reduzindo ao máximo o tempo de armazenagem. Sempre que não houver veículo de distribuição disponível para realização do *Cross-docking* imediato, será adotada a filosofia

de armazenagem aleatória, onde a caixa pode ocupar qualquer local disponível na área de estocagem (MOURA, 2006).

O Terminal receberá caminhões de empresas transportadoras que serão totalmente descarregados no local. No caso de necessidade de transferência para outro terminal, esta atividade será realizada pelo operador do sistema de distribuição em veículos de até 2.500 kg, evitando o trânsito urbano de caminhões de maior porte das empresas transportadoras e a necessidade de separação de cargas durante a descarga.

Após a descarga, deve haver o cadastro do endereço de entrega (CEP e número do imóvel) em um sistema de informática. A rota de entrega minimizando a distância percorrida e/ou o tempo de viagem serão gerados ao final do carregamento do veículo de distribuição.

4.1.2 Dimensionamento da doca de descarga

O tempo médio por entrega na empresa estudada é de 9,2 minutos, realizando aproximadamente 100 entregas diárias que resultando em um indicador de produtividade de entrega de 7 kg/min (RESENDE, 2014).

Silva (2014) realizou um estudo para modelar as dimensões volumétricas de cargas secas fracionadas com características similares, e otimizar os tempos de descarga. Neste trabalho foram encontrados índices de produtividade de entrega mínimo de 2 min/caixa e médias de 5 min/caixa, e uma proporção de 35 kg/caixa, resultando em um indicador médio de produtividade de entrega de 7 kg/min, equivalente ao encontrado por Resende (2014).

Nos dois trabalhos citados os locais de entrega são o estabelecimento de clientes (pontos comerciais) e a quantidade de pontos de entrega que são atendidos pela rota varia de 20 a 100. Ainda assim foram encontradas produtividades máximas de 20 kg/min.

A produtividade da descarga nos 4 Terminais Logísticos Mínimos localizados nos Terminais Periféricos do SIT Uberlândia deve ser otimizada em relação as entregas realizadas em estabelecimentos comerciais, considerando os seguintes itens favoráveis:

- Número reduzido de pontos de entrega
- Facilidade de acesso
- Infraestrutura apropriada para a descarga
- Disponibilidade do receptor
- Procedimentos burocráticos padronizados

Considera-se, portanto, neste trabalho, a produtividade de descarga de 20kg/min, dadas as condições favoráveis propostas para o Terminal Logístico Mínimo, chegando aos seguintes dados para o dimensionamento da recepção de caminhões:

- Recepção diária de até 4 veículos com tempo de permanência de 1,5 horas;
- Recepção diária de 6.200 kg, distribuídos em até 200 caixas ou totalizando 10m³;
- 6 horas diárias de operação de descarga (20 kg/min).

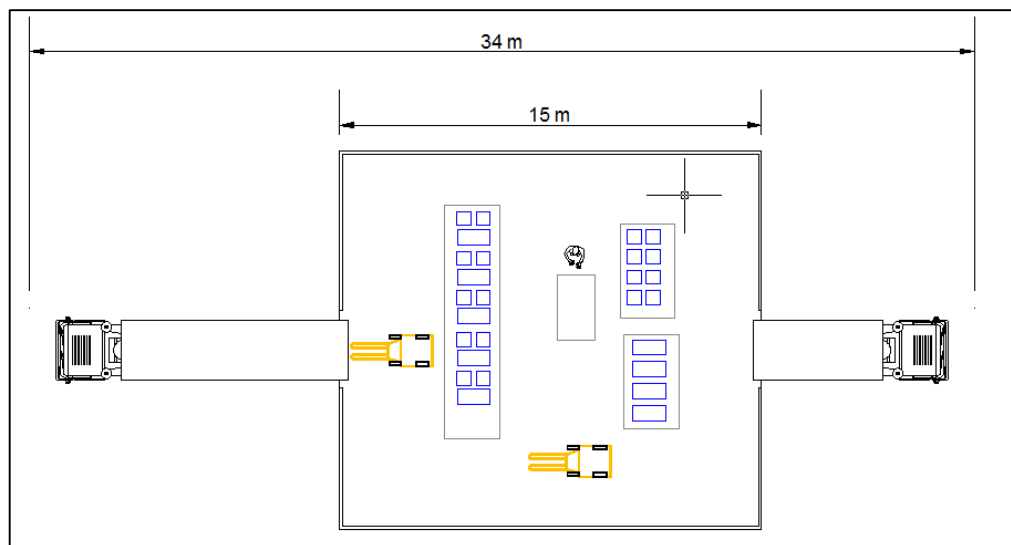
Nesta configuração conclui-se que o Terminal Logístico Mínimo deve ter uma doca de descarga para caminhões semi-pesados ou pesados.

4.1.3 Definição do *layout*

Uma das variáveis que mais afeta a produtividade do armazém é a concepção do *layout*. O *layout* depende de muitos fatores (TONDATO, 2014). Segue a definição de algumas variáveis importantes

- Estrutura de armazenagem: devido a operação de *cross-docking* e a filosofia de armazenagem aleatória, as caixas poderão ser dispostas no chão em uma área identificada para o *picking* e carregamento. Devem ser delimitadas áreas que comportem a demanda de um dia de carga e descarga. Considerando um volume diário de 10m³ e uma altura média de empilhamento de 0,5m, cada dia deve ocupar 20m² no caso de embarque posterior. Logo, é preciso definir uma área de 40m² para armazenagem. As áreas de armazenagem não devem ser contínuas, mas sim divididas para possibilitar a organização interna do CD.
- Equipamentos e corredores de movimentação: as características das cargas permitem que elas sejam manipuladas por um funcionário sem a necessidade de equipamentos específicos. Contudo devem ser planejadas áreas de movimentação que comportem o trânsito de uma empilhadeira de 3 toneladas.

Estes dados permitem dimensionar o *layout* do Terminal Mínimo através do *software* AutoCAD. Utilizando blocos em escala representando caminhões semi-pesados, leves e uma empilhadeira, dimensionou-se o projeto básico de Terminal Logístico Mínimo conforme a figura a seguir.

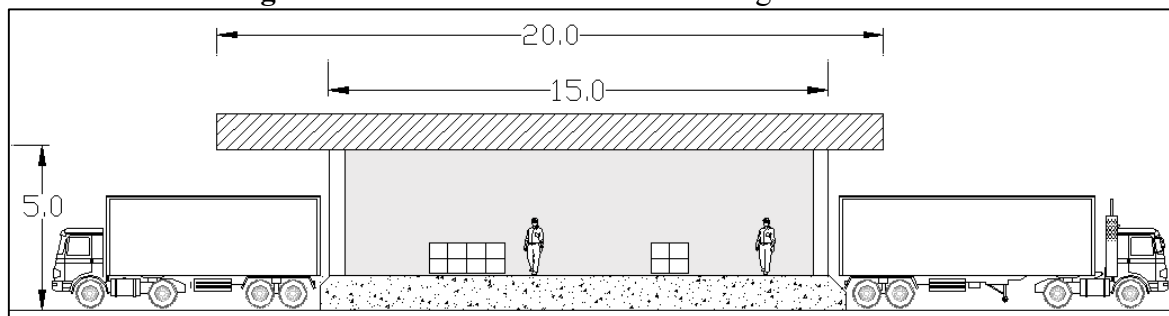
Figura 20 - Layout mínimo para operação de transbordo de cargas fracionadas

Fonte: O Autor

O *layout* mínimo proposto ocupa uma área retangular de aproximadamente 500 m², com largura mínima de 34 metros na dimensão transversal ao acesso dos caminhões de grande porte e veículos urbanos de carga, sendo que a área de armazenagem e *picking* deve ter 15m x 15m. A área de armazenagem de 40m² foi dividida em 3 regiões. As áreas de circulação permitem o trânsito de empilhadeiras no interior do Terminal.

Pode ser necessário dimensionar outras opções, de acordo com a área disponível nos Terminais de Passageiros. A sugestão apresentada não pretende solucionar o dimensionamento para implantação em todos os terminais, mas apenas indicar a estrutura mínima que pode atender a demanda diária estudada neste trabalho.

Em uma vista lateral do Terminal Logístico Mínimo é possível prever trabalhos futuros relacionados a outras configurações de plataforma para, por exemplo, facilitar a carga em paletes utilizando prateleiras e empilhadeiras.

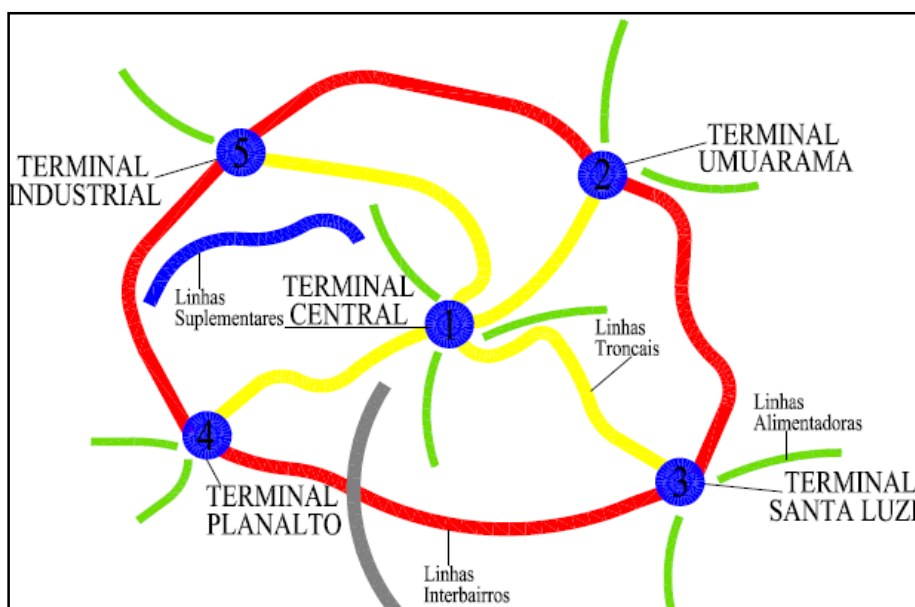
Figura 21 - Vista lateral do Terminal Logístico Mínimo

Fonte: O autor

4.2 ÁREA EM ESTUDO

O Sistema Integrado de Transporte de Uberlândia (SIT) é composto por 410 veículos, 3.000 pontos de parada, 115 linhas e 5 terminais, sendo 1 terminal central. Os 4 terminais periféricos do SIT Uberlândia foram implantados próximos a vias expressas urbanas. Devido a posição geográfica da cidade e a recente implantação do anel viário da cidade, os setores periféricos estão próximos também de rodovias interurbanas. Na Figura 22 é possível visualizar a localização periférica dos Terminais do SIT Uberlândia.

Figura 22 - Esquemático dos Terminais SIT Uberlândia



Fonte: SETTRAN Uberlândia - MG

A avaliação para implantação do Terminal Logístico Mínimo proposto neste trabalho foi realizada considerando-se o *layout* de implantação de cada terminal em busca de áreas livres maiores que 500m². Inicialmente, foi realizado um levantamento de dados disponibilizados pela Secretaria de Trânsito e Transportes de Uberlândia – MG. A Tabela 5 resultante deste levantamento não permitiu uma avaliação precisa da área livre de cada Terminal, porém a existência de áreas verdes indicou a viabilidade de continuidade do levantamento.

Tabela 5 - Áreas dos Terminais SIT Uberlândia

Terminal	Áreas (m²)			
	Terreno	Construção	Plataforma	Área Verde
Umuarama	14.223	4.135	1.790	8.854
Santa Luzia	9.438	3.363	803	2.791
Planalto	11.760	2.785	803	6.123
Industrial	7.116	1.440	473	5.032

Fonte: Adaptado de SETTRAN Uberlândia-MG

As áreas da Tabela 5 não são complementares entre si, e possibilitam apenas avaliar um terminal em relação a outro. A segunda avaliação, relacionada à instalação de “armários inteligentes” (caixas postais para cargas) foi realizada com base na existência de infraestrutura comercial para instalação dos armários no interior do terminal. O fluxo médio diário nos terminais periféricos do SIT Uberlândia varia de 300 pessoas no Terminal Industrial a 2.300 no Terminal Umuarama (SETTRAN, 2013). A instalação de armários para entrega não assistida deve considerar o impacto do aumento do movimento nestes terminais. Por exemplo, em terminais mais movimentados os horários de retirada devem ser restritos ao entrepico.

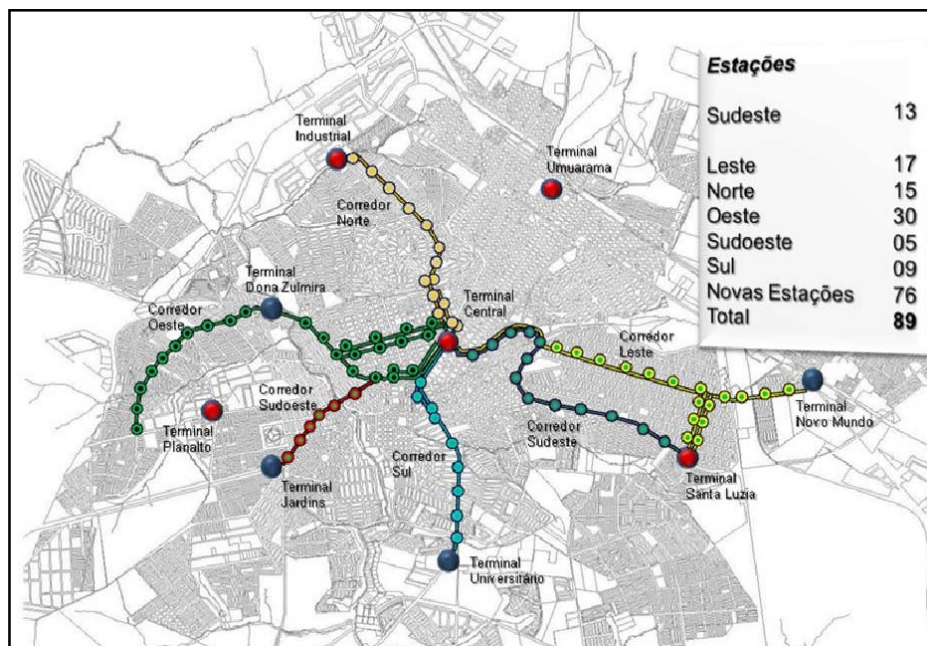
Tabela 6 - Relação de área construída por passageiros diários

Terminal	Construção (m²)	pass/ano	m²/pass/dia
Umuarama	4.135	739.925	2,04
Santa Luzia	3.363	562.751	2,18
Planalto	2.785	435.835	2,33
Industrial	1.440	16.311	4,52

Fonte: SETTRAN Uberlândia-MG

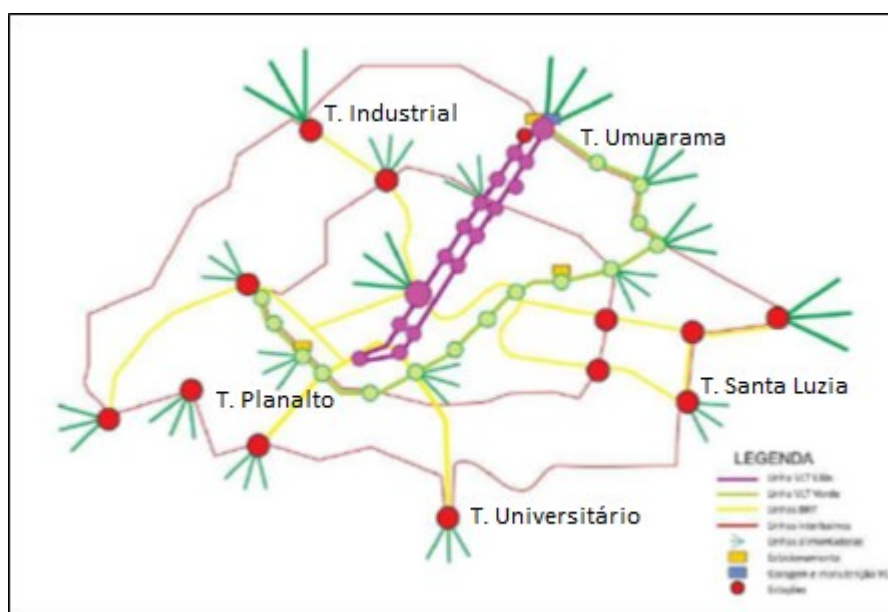
4.2.1 Projeto de Novos Terminais e Corredores Estruturais

Durante o desenvolvimento deste estudo a Prefeitura Municipal de Uberlândia divulgou o projeto de expansão do Sistema Integrado de Transportes no modelo BRT. Estão previstos a construção de quatro novos Terminais Periféricos e a implantação de cinco corredores com estações de embarque e desembarque. A implantação de novos terminais de passageiros aumenta a viabilidade da implantação de terminais logísticos urbanos compartilhando a infraestrutura, já que quanto maior a proximidade dos terminais de transbordo com as zonas de distribuição, maior a redução de custos com frete (NOVAES, 2007).

Figura 23 - Projeto de Expansão do SIT Uberlândia

Fonte: VLT Uberlândia, 2014

Em divulgação ainda mais recente, em novembro de 2014, foi apresentado um estudo sobre a implantação do sistema VLT (Veículo Leve sobre Trilhos) em Uberlândia – MG. O estudo foi realizado através de parceria entre instituições universitárias e empresas, utilizando recursos federais.

Figura 24 - Rede SIT - VLT proposta

4.2.2 Estudo do Terminal Planalto

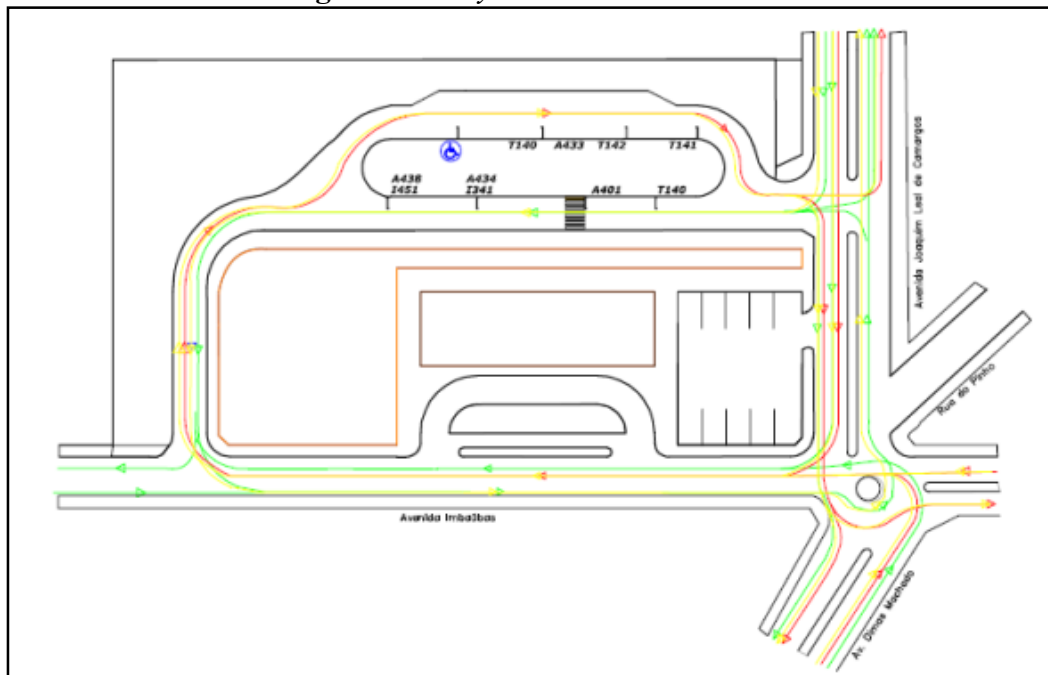
O estudo de viabilidade de implantação do Terminal Logístico Mínimo em Terminais Periféricos do SIT Uberlândia foi iniciado pelo Terminal Planalto. Foram realizadas visitas ao local, avaliação de fotos aéreas disponibilizada pelo “Google Maps” e obtenção do *layout* de implantação disponibilizado pela SETTRAN Uberlândia.

Figura 25 - Vista aérea do Terminal Planalto



Fonte: adaptado do Google Maps

Figura 26 - Layout Terminal Planalto

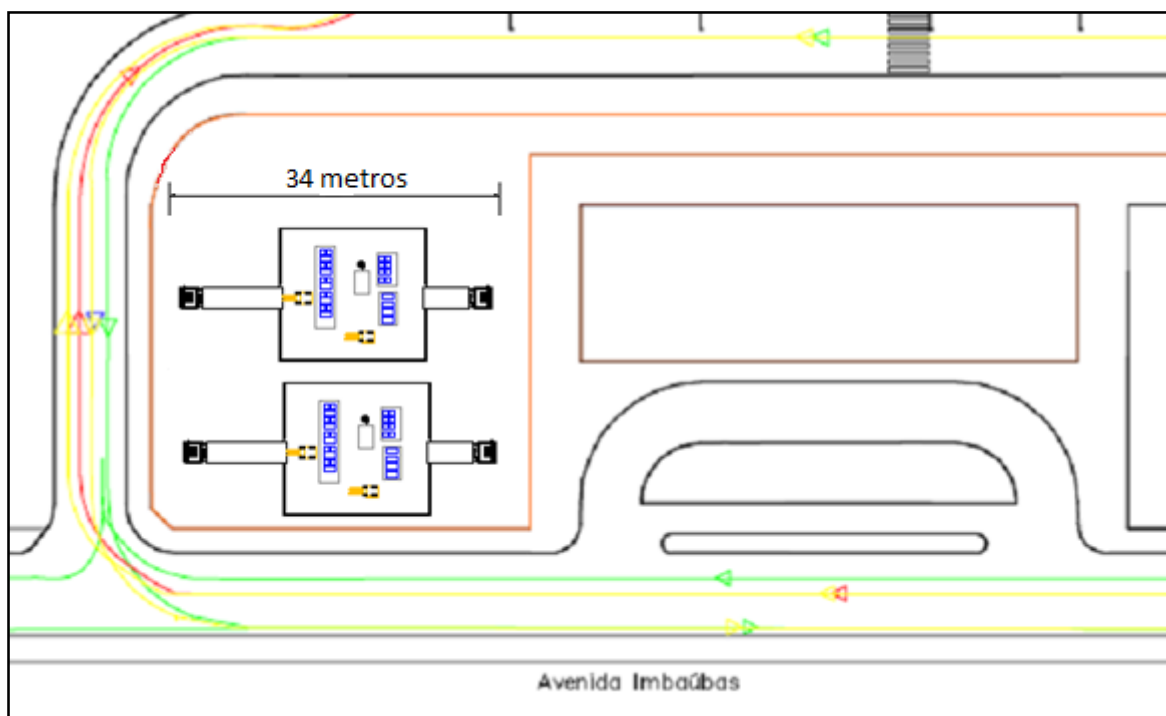


Fonte: SETTRAN Uberlândia

A localização do Terminal Planalto é propícia à instalação de um Terminal Logístico Urbano, por ser próximo à intersecção do Anel Viário setores Sul e Leste (em implantação) na cidade. O acesso interurbano (Anel Viário) é realizado através de 2,9 km de avenida com quatro pistas e canteiro central.

Existe uma área livre de aproximadamente 1500m² que poderia abrigar até dois Terminais Logísticos Mínimos. Para avaliar esta possibilidade, os desenhos em escala do Terminal Logístico Mínimo e o *layout* em escala do Terminal Planalto foram sobrepostos, como pode ser visto na Figura 27. Outra vantagem da área é o fácil acesso aos veículos de grande porte e aos veículos urbanos de carga por laterais opostas, facilitando a organização interna do armazém.

Figura 27 - Terminal Logístico Mínimo no Terminal Planalto



Fonte: o Autor

A área construída de 2.785 m² para administração, permanência de passageiros, bilhetagem e comércio pode abrigar uma estrutura de entrega não assistida, no formato de armários inteligentes. O fluxo médio diário de passageiros é o terceiro menor entre os terminais periféricos, indicando que o aumento no fluxo de pessoas devido a entrega não assistida não causará impacto negativo ao Terminal.

4.2.3 Estudo do Terminal Umuarama

Na simulação computacional realizada neste trabalho com a aplicação da ferramenta “*The Transportation Problem*”, o Terminal Umuarama obteve a melhor matriz de custos para distribuição de cargas dentre os terminais periféricos avaliados, devido à sua proximidade e facilidade de acesso à área central. O Terminal Umuarama é também o mais próximo do aeroporto (3,5km).

Figura 28 - Vista aérea Terminal Umuarama



Fonte: adaptado do Google Maps

Analisando a vista aérea em escala através do *software* AutoCAD, calculou-se que existem duas áreas livres de aproximadamente 750 m² cada, paralelas a uma rua interna às instalações do Terminal. Através de visitas ao local observou-se que a rua interna é atualmente utilizada como estacionamento e também para realização de feira livre semanal.

Figura 29 - Vista panorâmica do Terminal Umuarama



Fonte: o Autor

A implantação do Terminal Logístico Mínimo projetado, que tem as baias de carga e descarga posicionadas em lados opostos, não seria aplicável devido a presença de avenidas e instalações físicas ao redor da área livre, dificultando a manobra dos caminhões. Para o Terminal Umuarama deve ser projetado um *layout* com as baias de carregamento e descarregamento uma ao lado da outra, ou utilizando a rua interna sub-utilizada.

Figura 30 - Rua anexa ao Terminal Umuarama com feira-livre ao fundo



Fonte: o Autor

Observou-se durante o levantamento da área em estudo que a Prefeitura Municipal não prevê a instalação de corredores estruturais com estações de embarque-desembarque apropriadas para o sistema BRT na área nordeste da cidade, que é atendida pelo Terminal Umuarama. Por outro lado, em um estudo sobre a implantação do sistema VLT em Uberlândia, a principal avenida que liga o Terminal Umuarama ao Centro é contemplada com uma via exclusiva para operação de carga e descarga, em uma das opções sugeridas de perfil viário, conforme a Figura 31.

Figura 31 - Opção de perfil viário VLT Uberlândia



Fonte: www.vltuberlandia.com /#publicacoes

O mesmo estudo aponta a construção de um terminal de administração e manutenção em local próximo ao atual Terminal Umuarama, no bairro planejado multifuncional Granja Marileusa, um bairro recém-construído com grande potencial logístico devido à proximidade com o aeroporto, linha férrea e rodovias federais.

A construção deste Terminal VLT próximo ao Terminal Umuarama reduziria bastante o fluxo de pessoas, o mais elevado entre os quatro terminais periféricos do SIT Uberlândia. Mesmo com o fluxo de pessoas elevado, o setor comercial do Terminal Umuarama mostra-se adequado para a instalação de “armários inteligentes” destinados a cargas, já que *layout* interno não obriga os passageiros a passar por esta área ao entrar e sair do Terminal.

Figura 32 - Setor comercial do Terminal Umuarama



Fonte: o Autor

O principal diferencial do Terminal Umuarama para utilização na Logística Urbana de Cargas é a sua proximidade com a área central, através de avenidas com grande concentração de varejo comercial, e consequente demanda de um sistema de distribuição e coleta de cargas.

O Terminal Umuarama mostra-se viável para receber a instalação de um Terminal Logístico Mínimo, utilizando Veículos Urbanos de Cargas ou veículos alternativos para distribuição na área central, e também para a instalação de “armários inteligentes” onde os clientes fariam a retirada de suas encomendas, podendo inclusive utilizar o transporte coletivo para realizar esta atividade.

4.2.4 Terminal Santa Luzia

O Terminal Santa Luzia tem o segundo maior fluxo de pessoas entre os terminais periféricos. Utilizando a vista aérea do local em escala, calculou-se através do *software* AutoCAD uma área livre de 750m² apropriada para a instalação de um Terminal Logístico Mínimo.

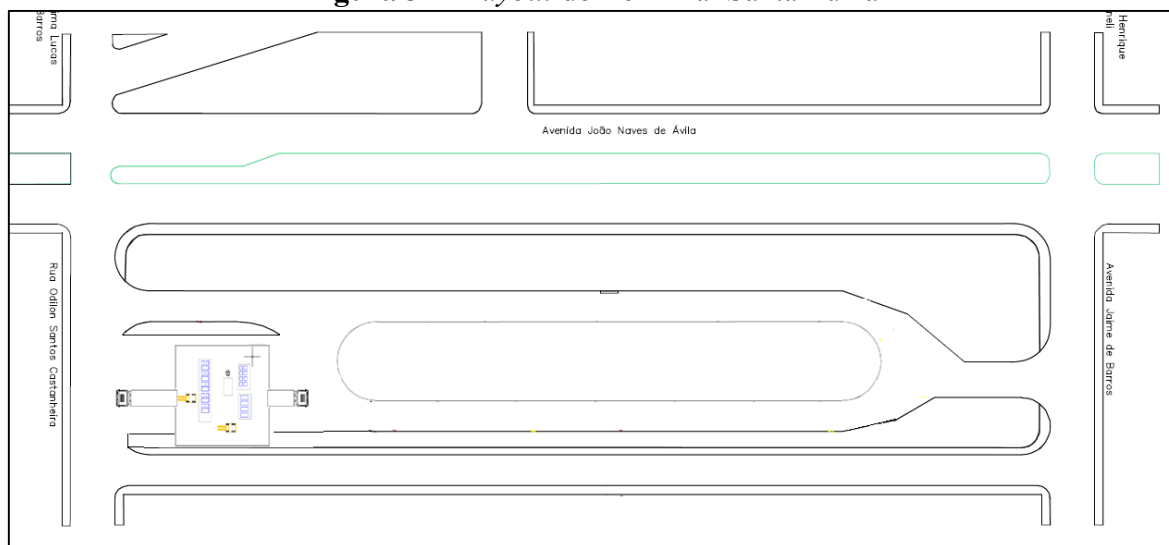
Figura 33 - Vista aérea do Terminal Santa Luzia



Fonte: adaptado do *Google Maps*

Os desenhos em escala do Terminal Logístico Mínimo e do *layout* do Terminal Santa Luzia foram sobrepostos, permitindo analisar a viabilidade de implantação neste local. A presença de vias de acesso em torno de toda a área livre permitiu utilizar o projeto básico dimensionado neste trabalho sem modificações.

Figura 34 - *Layout* do Terminal Santa Luzia



Fonte: adaptado de SETTRAN Uberlândia

O Terminal Santa Luzia é o único do SIT Uberlândia que tem atualmente um corredor estrutural com Estações Intermediárias. O corredor estrutural João Naves é constituído de

13 estações distantes 500m entre si ao longo da avenida de mesmo nome, e possui faixa exclusiva para ônibus.

Figura 35 - Estação corredor João Naves



Fonte: SETTRAN Uberlândia

As estações podem ser utilizadas para instalação de “armários inteligentes” muito próximos do cliente. Em setembro de 2014, a Prefeitura Municipal de Uberlândia instalou dentro de 4 estações prateleiras com livros no projeto “Leitura no Ponto”. Este exemplo mostra que a implantação de equipamentos com outras finalidades não prejudica o bom funcionamento da estação para sua finalidade principal.

Figura 36 - Projeto "Leitura no Ponto" em Estação



Fonte: SETTRAN Uberlândia

4.2.5 Estudo do Terminal Industrial

Localizado no Distrito Industrial de Uberlândia, o Terminal Industrial tem o menor fluxo de pessoas entre os terminais periféricos do SIT. É também o Terminal com menor área construída e menor área livre contínua (cerca de 600m²), sem considerar o espaço atualmente usado para estacionamento de ônibus.

Figura 37 - Vista aérea do Terminal Industrial

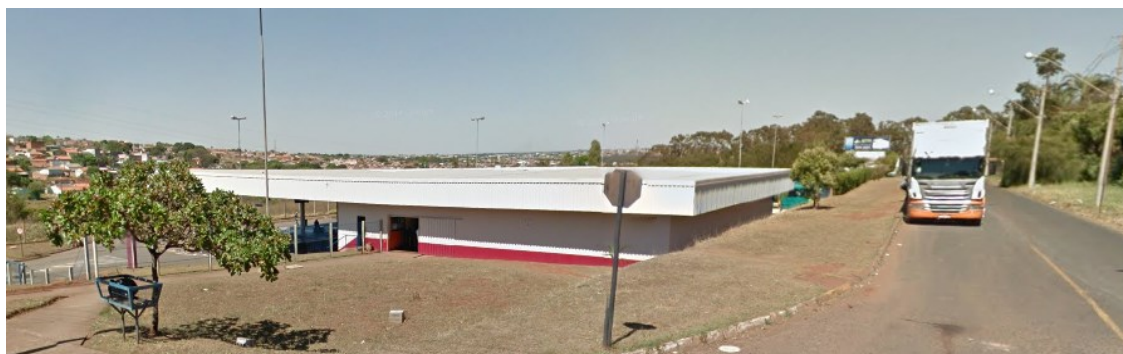


Fonte: adaptado do *Google Maps*

Grande parte das empresas transportadoras de Uberlândia tem seus CDs localizados no Distrito Industrial, tornando a localização deste Terminal estratégico do ponto de vista de proximidade com as empresas logísticas.

A topografia do terreno apresenta um aclave, sendo que a cobertura do Terminal Industrial está quase no nível da Rua Valdi Borges de Castilho, que passa ao fundo do Terminal.

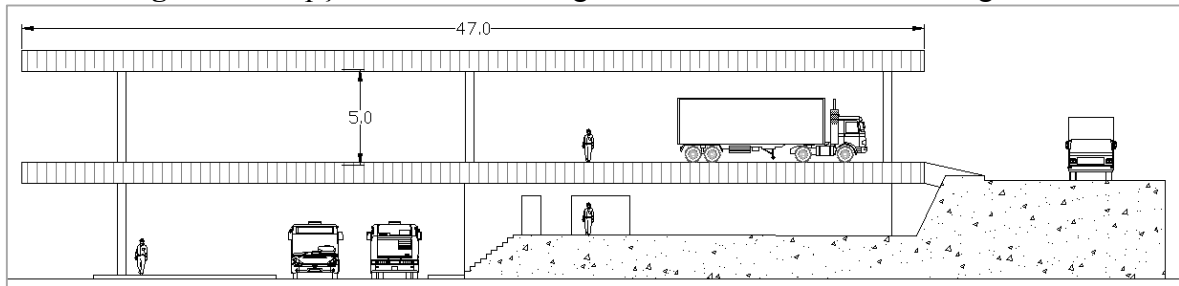
Figura 38 - Imagem da Rua ao fundo do Terminal Industrial



Fonte: O Autor

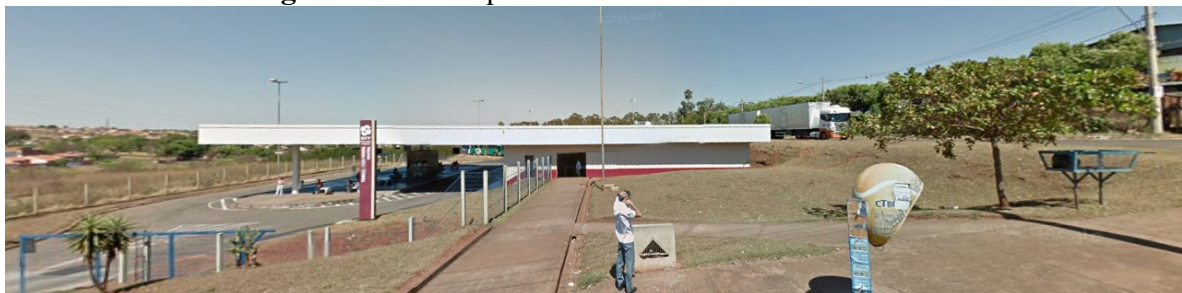
A topografia permite idealizar a implantação de um Terminal Logístico Mínimo sobre o prédio do Terminal e da plataforma de embarque e desembarque de ônibus. Com base nesta opção, foi realizado um pré-projeto utilizando o *software* AutoCAD para apresentar a viabilidade da proposta.

Figura 39 - Opção de Terminal Logístico sobre Terminal de Passageiros



Fonte: O Autor

Figura 40 - Vista panorâmica do Terminal Industrial



Fonte: O Autor

4.3 CALIBRAÇÃO DE MODELO COMPUTACIONAL

Utilizando o software TransCAD, este item teve como objetivo calibrar um modelo computacional que proporcionou estimar o tempo total gasto para realização de entregas urbanas, considerando a utilização de CDs coincidentes com os Terminais Periféricos do SIT Uberlândia, e comparar com a utilização de um CD único utilizado atualmente. Utilizou-se dados fornecidos por Resende (2014) de uma empresa real que realiza diariamente o transporte interurbano e a entrega urbana de carga seca fracionada na cidade de Uberlândia – MG.

Inicialmente, conforme descrito na metodologia, criou-se um projeto no *software* TransCAD contendo a rede viária da cidade (*network*) e dois *layer's* contendo a localização das entregas e dos Terminais Periféricos do SIT.

Em seguida calibrou-se os parâmetros da *network* do *software* TransCAD para que os tempos de percurso e de entrega fossem compatíveis com a realidade encontrada em trabalhos anteriores.

Após a configuração dos dados geográficos e calibração dos parâmetros de velocidades e tempos no projeto TransCAD, aplicou-se a ferramenta de Roteirização de Veículos sendo a demanda diária de entregas partindo de um CD único. Este primeiro conjunto de simulações gerou resultados de referência para quatro tipos de veículos, com capacidades de transporte de 500kg, 1000kg, 1500kg e 2500kg. Os resultados de referência contêm a quantidade de veículos e janela de tempo necessária para atendimento da demanda de entregas proposta.

Antes de realizar as simulações considerando os cenários com quatro CDs localizados nos Terminais Periféricos do SIT foi necessário predefinir quais CDs atenderiam de forma otimizada a quais pontos de entrega. Para esta definição, aplicou-se a ferramenta “*The Transportation Problem*” do *software* TransCAD, cujo algoritmo de otimização utiliza uma matriz previamente gerada pela ferramenta “*Cost Matrix*” contendo o custo de cada combinação de origens (CDs) e destinos (pontos de entrega).

Finalmente realizou-se o conjunto de 14 simulações considerando quatro CDs e quatro tipos de veículos, gerando os resultados a serem analisados.

4.3.1 *Network* e Base de Dados Georreferenciada

A fabricante do *software* TransCAD, Caliper, fornece redes para várias cidades norte-americanas. A cidade de Uberlândia, objeto deste trabalho, não tem, sua rede viária modelada. Para realização do estudo de caso, a *Network* utilizada nas simulações do *software* TransCAD, bem como o *layer* e *dataview* contendo ruas, avenidas e bairros, foram fornecidas pelo Laboratório de Transportes da POSGRAD/FECIV UFU atualizada em 2013.

O *dataview* (banco de dados) da *Network* tem um registro para cada arco. A seguir são descritos os campos mais importantes do *dataview*.

- **Comprimento:** comprimento do *link*, preenchido automaticamente pelo *software* TransCAD na criação da rede. Corresponde, neste trabalho, à distância em metros entre os nós do arco.
- **Sentido:** sentido de trânsito permitido no arco, por padrão permite os dois sentidos. A *Network* utilizada já contém os sentidos definidos, conforme a realidade da cidade em estudo. É importante para a correta aplicação da roteirização.
- **Logradouro:** indica em qual logradouro o arco está inserido, facilitando a percepção visual dos pontos e rotas nos mapas gerados. É preenchido manualmente durante a elaboração da rede viária (*network*).
- **Velocidade:** indica a velocidade a ser considerada durante a roteirização de veículos, impactando diretamente no resultado da simulação. A *network* fornecida tem definida a velocidade máxima da via. Este campo foi calibrado no item “Calibração dos tempos de percurso” para uma equivalência entre as simulações e os tempos reais medidos em trabalhos anteriores de Araújo (2013) e Resende (2014).

4.3.2 Dados de Demanda de Cargas

Os dados de demanda utilizados têm origem no trabalho de Resende (2014). São dados referentes aos despachos de uma empresa real que tem 20 filiais, com atuação na cidade de Uberlândia. O seu foco é em cargas secas fracionadas e possui clientes de diversos setores, como cosméticos, autopeças, medicamentos, *e-commerce*, alimentos, produtos de higiene, dentre outros. A empresa que disponibilizou as informações possui um processo de distribuição onde os dados de operação de entregas são alimentados *on line* no sistema

operacional via telefone celular. O motorista ao chegar em cada destino gera um comando de “início” para o despacho correspondente e, ao concluir a entrega, gera um comando de “finalizar”. Esses comandos são imediatamente enviados para o sistema operacional da empresa e os registros da entrega são atualizados. Dessa forma, tem-se o tempo exato gasto para executar a entrega e pode-se estimar os tempos de percurso entre entregas, através dos tempos entre o término de uma entrega e o início da entrega seguinte. Formou-se assim, um banco de dados composto por 103 despachos destinados à cidade de Uberlândia, cujo banco de dados é representativo da média diária da empresa nesta cidade. Os dados das entregas e tempos de descarga e de percurso estão apresentados no Anexo A.

Resende (2014) realizou simulações de distribuição a partir de um Centro de Distribuição localizado no Distrito Industrial de Uberlândia, pretendendo determinar a frota ótima a ser utilizada para atendimento da demanda. No presente trabalho, utilizamos as instalações dos Terminais Periféricos do SIT Uberlândia como Centro de Distribuição para avaliar os ganhos apresentados neste cenário em relação aos tempos e quantidade de veículos necessários para o atendimento da demanda de entregas.

Após obtenção da Rede, foi preciso alocar cada uma das entregas existentes na lista de despachos, sendo que a lista contém para cada despacho (entrega) o endereço de cada ponto. O *layout* da tabela fornecida por Resende (2014) pode ser visto na Tabela 7, onde foram descaracterizados os campos que podem identificar Fornecedores e Clientes do exemplo real fornecido para o presente trabalho.

Tabela 7 - Layout dos dados de demanda

REMETENTE	DEST.	ENDEREÇO	PESO (kg)	VOL (caixas)	Valor (R\$)	Frete (R\$)
Hen***	Dar***	Av Afonso Pena, 11**	367,1	33	4537	273,24
Uni***	Alim***	Av Brasil, 2**6	216	12	2189	161,16
Del***	Carl***	Av Cesário Alvim, *57	4,8	1	1621,8	37,17
De ***	Gab***	Av Espanha, **5	4,8	1	1618,92	37,17
Baq***	New***	Av Floriano Peixoto, 1**1	14	1	594,8	45,52
Doc***	Com***	Av Floriano Peixoto, 19**	127,85	15	760,6	91,01
Qui***	Agro***	Av Francisco Ribeiro, 1**5	28,74	9	11587,75	100,16

Fonte: Resende (2014)

A função de cada campo pode ser descrita da seguinte forma:

- **Remetente:** Empresa fornecedora do produto/carga a ser entregue, mostrando o nome fantasia de fabricantes e distribuidores de fármacos, tintas, tecidos, artigos têxteis, papelaria, peças automotivas e outras cargas fracionadas.
- **Destinatário:** Empresa compradora do produto/carga a ser entregue, mostrando o nome fantasia do cliente.
- **Endereço:** Endereço com Logradouro e número do imóvel da Empresa compradora do produto/carga a ser entregue, todos na cidade de Uberlândia – MG.
- **Peso:** massa em quilogramas da entrega, sendo o “pacote” mínimo de 1kg e máximo de 40kg.
- **Volumes:** quantidade de “pacotes” da entrega, não correspondendo ao volume físico ocupado pelo produto, variando de 1 a 89 “pacotes”.
- **Valor:** valor monetário da entrega, sendo que o valor do “pacote” varia de R\$ 28,00 a R\$ 2.146,00 e a entrega de maior valor é de R\$ 77.271,00.
- **Frete:** valor monetário do frete total da entrega, variando de R\$ 29,00 a R\$ 458,19.

Para alocação dos pontos de entrega em um *Dataview* georreferenciado no *software* TransCAD, é necessário identificar a coordenada do endereço de cada entrega. O método tradicional utilizado para alocação de pontos em cidades não catalogadas pelo fabricante do *software* TranCAD é através de “cliques” em cada local. Neste trabalho, foi aplicada uma sequência de tratamento de dados que agilizou o processo em relação a alocação através de “cliques” de cada ponto individualmente.

A coluna com endereços foi utilizada para encontrar as coordenadas geográficas aproximadas dos pontos de entrega. Foi utilizada o site “GPS Visualizer” para realizar esta tarefa. O site “GPS Visualizer”, criado para converter arquivos dados de GPS em mapas, possui entre suas ferramentas um aplicativo gratuito que facilita a conversão de endereços textuais em coordenadas geográficas utilizando APIs (*Application Programming Interface*) de provedores de mapas *online*, como *Google Maps* e *Bing Maps*. Os provedores de mapas, quando encontram um logradouro em sua base de dados, retornam no mínimo a quadra em que o endereço se encontra. Esta precisão é suficiente para a realização das simulações deste trabalho sem interferir na comparação dos resultados, já que as posições das entregas serão mantidas para todos os cenários testados. A Tabela 8 mostra um exemplo do *layout* resultante da vinculação de endereços e coordenadas. No Anexo A são apresentadas as coordenadas de todas as entregas utilizadas para as simulações realizadas.

Tabela 8 - *Layout da tabela com as coordenadas de entregas*

<i>ID</i>	<i>LONGITUDE</i>	<i>LATITUDE</i>	<i>ENDEREÇO</i>
1	48292608	18901373	R. José Lemos Garcia, 02
2	48278351	18919095	Av. Paulo Gracindo, 15
3	48322680	18908917	R. Manto, 28
4	48285416	18936968	R. Sapucaí, 51
5	48233075	18954372	R. Dorivaldo Oliveira Pinto, 54
...			

Fonte: O Autor

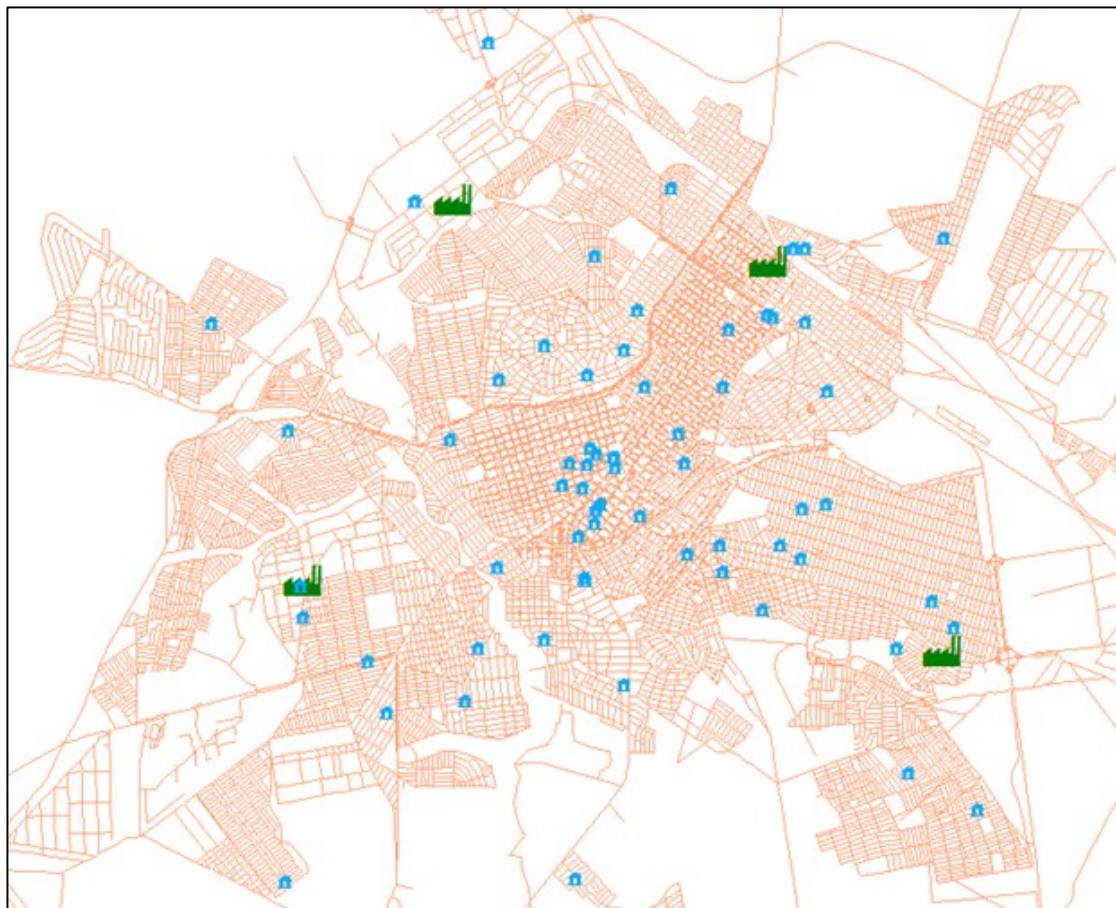
Utilizando o Microsoft Excel, continuou-se o tratamento dos dados com a exclusão das colunas de Destinatário, Volumes, Valor e Frete, mantendo apenas as colunas de Peso e Endereço. Criou-se, na planilha, os campos utilizados pela ferramenta *Vehicle Routing (NodeID, Demand, Depot, Open Time, Close Time, Fixed Time, Unity Time)*, além de colunas com as Latitudes e Longitudes de cada ponto de entrega. A tabela foi salva em um arquivo com extensão CSV (valores separados por vírgulas), porque este formato permite a importação no *software* TransCAD.

Para importação da tabela contendo as coordenadas das entregas em um *Dataview* do TransCAD, foi necessário verificar nas propriedades do projeto a projeção e fuso correto. No caso em estudo, verificou-se no TransCAD que o sistema de coordenadas para Uberlândia-MG no menu: *File->Properties->Change Projection->* [UTM22, GRS1980].

Em seguida, o arquivo de extensão *.CSV contendo as latitudes e longitudes de cada entrega foi aberto no *software* TransCAD, gerando um arquivo geográfico (extensão *.dbf). O arquivo geográfico foi então utilizado para criação de um novo *layer*, chamado “*Stops*”, referente aos pontos de parada para realização das entregas. O campo *NodeID* de cada entrega presente no *dataview* vinculado ao *layer* “*Stops*” foi preenchido com o *ID* do nó da rede (*endpoint*) mais próximo, através do menu , *Tools->fill->tag*. Obteve-se assim, a localização dos pontos de entrega cadastrados no banco de dados do *software* TransCAD. O mesmo processo foi repetido para os Terminais Periféricos do SIT Uberlândia, gerando o *layer* “*Depots*”. Os *layers* com os CDs e pontos de entregas a serem utilizados na geração de cenários pode ser visto na Figura 41.

Os nomes “*Stops*” para os pontos de entrega e “*Depots*” para os CDs foram definidos para posteriormente facilitar a referência em formulários do *software* TransCAD durante a geração da Matriz de Custo, Problema Clássico de Transportes e Roteirização de veículos.

Figura 41 - Rede, Depósitos e Entregas no TransCAD



Fonte: O Autor

Os *dataviews* “*Depots*” e “*Stops*” têm campos *ID*, *NodeID*, *Demand*, *Supply*, *Open Time*, *Close Time*, *Fixed Time*, *Unity Time* e *Depot*, cujas funções são descritas no item 3.3 - Roteirização de Veículos da Metodologia.

4.3.3 Calibração de parâmetros

Utilizando os dados geográficos e quantitativos dos CDs e dos pontos de entregas, foi possível calibrar os parâmetros que definem o tempo de percurso e o tempo de entrega, baseado nos dados dos trabalhos de Araújo (2013) e Resende (2014). Para a realização das calibrações comentadas no próximo item considerou-se um segundo *layer* de “*Depot*” com

o CD de distribuição utilizado por Resende (2014) localizado no Distrito Industrial de Uberlândia – MG.

Tanto as calibrações quanto as simulações de cenários dos itens a seguir foram realizadas utilizando a ferramenta “*Vehicle Routing*” do *software* TransCAD, conforme apresentado na Metodologia deste trabalho.

4.3.3.1 Calibração dos tempos de percurso

Araújo (2013) calibrou as velocidades médias da rede baseado em levantamento realizado com veículos leves de carga em Uberlândia – MG. Resende (2014) calibrou as penalidades por cruzamentos e conversões baseado em tempos médios de percurso levantados por veículos utilitários e leves também em Uberlândia – MG.

A calibração realizada neste trabalho buscou encontrar coeficientes de velocidade média das vias que permitissem modelar tanto a velocidade média nos percursos quanto os tempos por entrega encontrados nos trabalhos anteriores citados.

Conforme levantamento realizado por Araújo (2013), a velocidade média de veículos leves de cargas dentro de cidades é de 10 km/h para distâncias menores que 8 km, e 25 km/h para distâncias maiores. As distâncias maiores percorridas no levantamento de Araújo (2013) ocorreram em vias de velocidade máxima superior a 50 km/h, enquanto as distâncias menores utilizaram as vias mais lentas. Logo, optou-se por calibrar as velocidades médias das vias dependendo da sua velocidade máxima permitida. O campo *Time* do *layer* Rede foi então preenchido com a seguinte equação:

(if Velocity > 50 then 0.12 * LENGTH / Velocity else 0.24 * LENGTH / Velocity)

Após realizar várias simulações, observou-se que os coeficientes 0.12 e 0.24 das velocidades médias ficaram de acordo com o levantamento de Araújo (2013), e os tempos de percurso por entrega também ficaram coerentes com o levantamento de Resende (2014), em torno de 7,8 minutos de viagem por entrega. Nesta primeira simulação, chamada Simulação A, os tempos fixo e unitário de entregas foram considerados como nulos, já que deseja-se calibrar os tempos de percurso. O resultado da Simulação A é apresentado na Tabela 9, e os dados brutos podem ser encontrados no Anexo B – Simulações no *software* TransCAD.

Tabela 9 - Simulação A (calibração das velocidades de percurso)**SIMULAÇÃO A**

Capacidade dos veículos disponíveis: 1.500 Kg.

Fixed Time 0

Unity Time 0

Roteiro	Capacidade do Veículo (kg)	Peso da carga (Kg)	Qtd. de entregas	Tempo total (h)	Distância total (Km)
1	1.500	1.210	21	3,39	66,0
2	1.500	1.500	21	1,59	42,1
3	1.500	1.074	28	2,53	53,94
TOTAL		3.784	70	7,51	162,04

4.3.4 Calibração dos tempos de entrega

Os tempos de entrega foram calibrados conforme o levantamento realizado por Resende (2014), pois utilizamos mesma origem dos dados de entrega. Utilizou-se um *unity time* de 0,11 minutos e um *fixed time* de 2 minutos para realizar a simulação B de calibração, cujo resultado pode ser visto na Tabela 10.

Tabela 10 - Simulação B (calibração dos tempos de entrega)**SIMULAÇÃO B**

Capacidade dos veículos disponíveis: 2.500 Kg.

Fixed Time 2

Unity Time 0,11

Roteiro	Capacidade do Veículo (kg)	Peso da carga (Kg)	Qtd. de entregas	Tempo total (h)	Distância total (Km)
1	2.500	1.786	46	9,53	80,72
2	2.500	2.470	29	7,57	35,93
3	2.500	2.488	25	7,33	37,32
TOTAL		6.744	100	24,43	153,97

A Simulação B encontrou um tempo médio de 15 minutos por entrega. Resende (2014) encontrou em sua calibração um tempo de 17 minutos por entrega, mais próximo do realizado pela empresa estudada. A calibração destes tempos pode ser melhorada, porém como o objetivo é o estudo de viabilidade da utilização de terminais periféricos em relação a apenas um terminal, a coerência dos dados permite prosseguir com a geração de cenários contemplando mais de um CD. A Simulação B pode ser encontrada no Anexo B – Simulações no *software* TransCAD.

4.4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.4.1 Problema Clássico de Transportes utilizando Terminais do SIT

Nesta fase do estudo, já havia sido definida durante a etapa de calibração a *Network* (rede viária) e os *layers* com os Terminais Periféricos e os pontos de entrega. Durante a calibração, utilizou-se apenas um terminal como origem das viagens. Buscando analisar o ganho de tempo promovido pela utilização de Terminais Periféricos do SIT Uberlândia como CD para distribuição de cargas secas fracionadas, aplicou-se a ferramenta “*The Transportation Problem*” do *software* TransCAD, descrita no item 3.2 – Problema Clássico de Transportes, para definir de forma otimizada qual CD deve atender as demandas de quais pontos de entrega. A tabela 11 mostra as demandas alocadas pelo TransCAD para cada terminal atender.

Tabela 11 - Demandas por Terminal Periférico

<i>Terminal</i>	<i>Quantidade de Pontos de Entrega</i>	<i>Demanda atendida (kg)</i>
2 – Terminal Industrial	9	333
3 – Terminal Umuarama	29	3480
4 – Terminal Santa Luzia	17	493
5 – Terminal Planalto	46	2474

4.4.2 Geração de Cenários

Após atualizar os *dataviews* dos pontos de entrega indicando o terminal fornecedor conforme indicado pelo *software* TransCAD com a utilização da ferramenta “*The Transportation Problem*”, programou-se um conjunto de 14 cenários com simulações de roteamento objetivando avaliar a melhor configuração de terminais e tipos de veículos.

As roteirizações de veículos feitas pelo *software* TransCAD não otimizam a quantidade de veículos a ser utilizada. A definição do agrupamento das viagens de forma que a janela de tempo seja melhor aproveitada por cada veículo deve ser feita a parte através de heurísticas de otimização, conforme descrito por Carrara (2007). Por isso, as simulações utilizaram uma janela de tempo de 10 horas, maior que as 7 horas de entropico do transporte de passageiros mas coerente com o horário comercial quando são realizadas as entregas.

As simulações variaram a quantidade de terminais e os tipos de veículos utilizados. Duas simulações isoladas alteraram a demanda total, e duas utilizaram o Terminal Central.

Os terminais utilizados nas simulações foram:

1. **Terminal Central:** utilizado em 2 simulações, partindo deste apenas com veículos de 500kg por se tratar de área central congestionada.
2. **Terminal Industrial:** utilizado em 9 simulações, foi utilizado como referência por ser o Terminal mais próximo do CD da empresa que forneceu os dados.
3. **Terminal Umuarama:** utilizado em 9 simulações, supriu a maior demanda calculada pela otimização da ferramenta “*The Transportation Problem*”.
4. **Terminal Santa Luzia:** utilizado em 6 simulações, localizado no corredor João Naves com grande fluxo de passageiros.
5. **Terminal Planalto:** utilizado em 9 simulações, tem área para implantação de infraestrutura logística.

A capacidade máxima dos veículos foi definida com base nos trabalhos de Araújo (2013), que indica o Veículo Urbano de Cargas (capacidade até 2.500 kg) como uma solução viável para distribuição em áreas urbanas congestionadas. Resende (2014) apresenta o veículo tipo Furgão com capacidades variando entre 500kg a 3.000kg como uma boa opção para a terceirização de frota de entregas de cargas secas fracionadas. Outra vantagem do Furgão aplicado a este trabalho é a possibilidade de instalação de assentos escamoteáveis, permitindo a utilização para transporte de passageiros nos horários de pico e para transporte de cargas no restante da jornada. Assim, as capacidades utilizadas nas simulações foram de 500kg, 1.000kg, 1.500kg e 2.500kg.

Para gerar a roteirização de cada cenário, a tabela “*Vehicle Table*”, da ferramenta “*Vehicle Routing*” do *software* TransCAD foi sendo alterada, editando-se os valores do campo “*No. Vehs*”, indicando a quantidade de veículos disponíveis de acordo com cada combinação desejada de capacidade e depósito.

Outro campo alterado a cada roteirização é a coluna “*Depot*” das entregas existentes no *layer* “*Stops*”. Esta é a forma de se definir no *software* TransCAD qual o CD suprirá a demanda

de cada ponto de entrega durante a roteirização. A quantidade de entregas é relativamente grande para editar-se manualmente no *software* TransCAD, conforme pode ser observado na Figura 42, principalmente considerando-se que o CD é indicado pelo *nodeID* do Depósito desejado. Com isso, foi necessário gerar as planilhas contendo os dados de cada cenário no Microsoft Excel, e posteriormente atualizar o *dataview* do *layer* “Stops” a cada nova roteirização.

Figura 42 - Dataview das Entregas com destaque para Coluna “Depot”

ID	Longitude	Latitude	[Latitude:1]	[Longitude:1]	Demand	Depot	[Open Time]	[Close Time]	[Unity Time]	[Fixed Time]	NodeID
20	-48310727	-18940345	-1174409257	270999804	-271104023	555268607	1038684199	-1174409257	0.00	-271109143	558938623
6	-48307930	-18947298	-1174409257	270999916	-271114263	562608639	367595559	-1174409257	0.00	-271119383	566278655
46	-48333908	-18894317	-1174409257	271000028	-271124503	569948671	-303493081	-1174409258	0.00	-271129623	573618687
30	-48320153	-18934343	-1174409258	271000140	-271134743	577288703	-974581721	-1174409258	0.00	-271139863	580958719
49	-48320437	-18930179	-1174409258	271000252	-271144983	584628735	-1645670361	-1174409258	0.00	-271150103	588298751
3	-48322680	-18908917	-1174409258	271000364	-271155223	591968767	1978208295	-1174409258	0.00	-271160343	595638783
28	-48304979	-18877194	-1174409258	271000476	-271165463	599308799	1307119655	-1174409258	0.00	-271170583	602978815
38	-48304979	-18877194	-1174409258	271000588	-271175703	606648831	636031015	-1174409258	0.00	-271180823	610318847
42	-48296765	-18945562	-1174409258	271000700	-271185943	613988863	-35057625	-1174409259	0.00	-271191063	617658879
25	-48280597	-18969562	-1174409259	271000812	-271196183	621328895	-706146265	-1174409259	0.00	-271201303	624998911
48	-48273869	-18942939	-1174409259	271000924	-271206423	628668927	-1377234905	-1174409259	0.00	-271211543	632338943
22	-48294917	-18938296	-1174409259	271001036	-271216663	636008959	-2048323545	-1174409259	0.00	-271221783	639678975
17	-48292477	-18927094	-1174409259	271001148	-271226903	643348991	1575555111	-1174409259	0.00	-271232023	647019007
4	-48285416	-18936968	-1174409259	271001260	-271237143	650689023	904466471	-1174409259	0.00	-271242263	654359039
66	-48299328	-18909730	-1174409259	271001372	-271247383	658029055	233377831	-1174409259	0.00	-271252503	661699071
34	-48279748	-18928853	-1174409260	271001484	-271257623	665369087	-437710809	-1174409260	0.00	-271262743	669039103
55	-48279864	-18928331	-1174409260	271001596	-271267863	672709119	-1108799449	-1174409260	0.00	-271272983	676379135
51	-48280898	-18922840	-1174409260	271001708	-271278103	680049151	-1779888089	-1174409260	0.00	-271283223	683719167
18	-48283313	-18915672	-1174409260	271001820	-271288343	687389183	1843990567	-1174409260	0.00	-271293463	691059199
11	-48280373	-18916162	-1174409260	271001932	-271298583	694729215	1172901927	-1174409260	0.00	-271303703	698399231
32	-48278636	-18920872	-1174409260	271002044	-271308823	702058247	501813287	-1174409260	0.00	-271313943	705739263

Fonte: O Autor

Inicialmente realizou-se uma simulação com veículos de 6,5 toneladas partindo do Terminal Umuarama, por este ter apresentado a matriz de custos mais favorável, e sem restrição de janela de tempo, com o objetivo de definir o *benchmarking* de tempo de viagem.

Tabela 12- Cenário 01 (1 Terminal / 6,5 ton)

Rota	Terminal	Tempo (h)	Distância (m)	Carga (kg)
1	Industrial	22:12	134.681	6.211

Em seguida, utilizando apenas o Terminal Industrial na janela de tempo especificada de 10 horas, gerou-se os cenários de 02 a 05, contemplando as roteirizações de referência para os tipos de veículos com 500kg, 1000kg, 1500kg e 2500kg partindo de um terminal próximo ao utilizado pela empresa transportadora do Estudo de Caso.

Tabela 13 - Cenário 02 (1 Terminal / 500 kg)

Rota	Terminal	Tempo (h)	Distância (m)	Carga (kg)
1	Industrial	2:42	33.687	361
2	Industrial	2:34	44.045	228
3	Industrial	2:39	26.340	482
4	Industrial	2:13	18.478	497
5	Industrial	2:31	30.126	365
6	Industrial	2:22	18.689	498
7	Industrial	2:36	36.006	435
8	Industrial	2:01	20.353	500
9	Industrial	2:23	27.757	483
10	Industrial	2:13	20.929	497
11	Industrial	2:16	23.646	500
12	Industrial	2:39	37.529	486
13	Industrial	2:28	34.553	410
14	Industrial	2:09	30.326	469
		33:51	402.466	6.211

Tabela 14 - Cenário 03 (1 Terminal / 1000 kg)

Rota	Terminal	Tempo (h)	Distância (m)	Carga (kg)
1	Industrial	4:20	55.426	613
2	Industrial	4:48	52.735	704
3	Industrial	3:34	19.346	1.000
4	Industrial	3:53	36.405	975
5	Industrial	3:06	17.955	997
6	Industrial	4:06	32.231	922
7	Industrial	2:56	19.361	1.000
		26:45	233.460	6.211

Tabela 15 - Cenário 04 (1 Terminal / 1500 kg)

Rota	Terminal	Tempo (h)	Distância (m)	Carga (kg)
1	Industrial	5:09	65.256	684
2	Industrial	5:10	37.363	1.411
3	Industrial	5:05	41.139	1.203
4	Industrial	5:20	34.403	1.417
5	Industrial	5:19	45.874	1.496
		26:04	224.036	6.211

Tabela 16 - Cenário 05 (1 Terminal / 2500 kg)

Rota	Terminal	Tempo (h)	Distância (m)	Carga (kg)
1	Industrial	7:46	58.989	1.572
2	Industrial	7:45	43.119	2.330
3	Industrial	7:52	59.790	2.309
		23:25	161.898	6.211

Para comparar os resultados utilizando o Terminal Industrial com os resultados obtidos com o Terminal Umuarama, gerou-se um Cenário utilizando apenas o Terminal Umuarama , considerando que este supre todas as entregas.

Tabela 17 - Cenário 06 (1 Terminal / 2500 kg)

Rota	Terminal	Tempo (h)	Distância (m)	Carga (kg)
1	Umuarama	7:45	81.650	1.362
2	Umuarama	7:42	38.769	2.461
3	Umuarama	7:49	39.466	2.388
		23:17	159.885	6.211

Continuando a geração de cenários, foram realizadas duas roteirizações considerando tipos de veículos com capacidade de 1500kg e 2500kg, com CDs localizados nos Terminais Umuarama e Planalto.

Tabela 18 - Cenário 07 (2 Terminais / 1500 kg)

Rota	Terminal	Tempo (h)	Distância (m)	Carga (kg)
1	Planalto	5:01	29.760	1.256
2	Planalto	4:58	42.482	1.218
3	Umuarama	4:55	53.801	805
4	Umuarama	4:48	28.934	1.435
5	Umuarama	4:04	15.106	1.497
		23:47	170.084	6.211

Tabela 19 - Cenário 08 (2 Terminais / 2500 kg)

Rota	Terminal	Tempo (h)	Distância (m)	Carga (kg)
1	Planalto	9:35	62.659	2.474
2	Umuarama	6:35	62.474	1.401
3	Umuarama	6:39	26.005	2.336
		22:50	151.139	6.211

Em seguida, gerou-se as roteirizações para os cenários 09 a 12, considerando a utilização dos 4 Terminais Periféricos, respeitando as definições de depósito a suprir cada demanda conforme estipuladas pela ferramenta de otimização “*The Transportation Problem*”.

Tabela 20 - Cenário 09 (4 Terminais / 500 kg)

/Rota	Terminal	Tempo (h)	Distância (m)	Carga (kg)
1	Planalto	2:11	40.347	124
2	Planalto	2:03	17.568	401
3	Planalto	1:59	14.823	498
4	Planalto	2:01	17.011	499
5	Planalto	2:03	15.351	454
6	Planalto	1:40	10.959	498
7	Santa Luzia	2:56	25.682	493
8	Umuarama	1:21	13.846	298
9	Umuarama	1:22	8.440	450
10	Umuarama	1:22	11.346	463
11	Umuarama	1:22	8.504	420
12	Umuarama	1:24	10.125	414
13	Umuarama	1:21	4.118	476
14	Umuarama	1:23	11.178	390
15	Industrial	2:06	24.526	333
		26:42	233.823	6.211

Tabela 21 - Cenário 10 (4 Terminais / 1000 kg)

Rota	Terminal	Tempo (h)	Distância (m)	Carga (kg)
1	Planalto	3:56	33.476	816
2	Planalto	3:35	37.973	658
3	Planalto	2:59	12.198	1.000
4	Santa Luzia	2:56	25.682	493
5	Umuarama	2:14	14.660	619
6	Umuarama	2:05	12.821	655
7	Umuarama	2:14	13.260	798
8	Umuarama	2:11	9.864	839
9	Industrial	2:06	24.526	333
		24:22	184.461	6.211

Tabela 22- Cenário 11 (4 Terminais / 1500 kg)

Rota	Terminal	Tempo (h)	Distância (m)	Carga (kg)
1	Planalto	5:01	29.760	1.256
2	Planalto	4:58	42.482	1.218
3	Santa Luzia	2:56	25.682	493
4	Umuarama	2:51	12.757	898
5	Umuarama	2:45	14.506	948
6	Umuarama	2:52	13.650	1.065
7	Industrial	2:06	24.526	333
		23:32	163.363	6.211

Tabela 23 - Cenário 12 (4 Terminais / 2500 kg)

Rota	Terminal	Tempo (h)	Distância (m)	Carga (kg)
1	Planalto	9:35	62.659	2.474
2	Santa Luzia	2:56	25.682	493
3	Umuarama	4:06	21.434	1.325
4	Umuarama	4:07	14.763	1.586
5	Industrial	2:06	24.526	333
		22:50	149.065	6.211

Finalmente, realizou-se duas roteirizações considerando a utilização dos quatro Terminais Periféricos e do Terminal Central. Os veículos partindo do Terminal Central tiveram sua capacidade definida em 500 kg devido às restrições da área central, e para os demais terminais os tipos de veículos considerados foram de 1500 kg e 2500 kg em cada simulação.

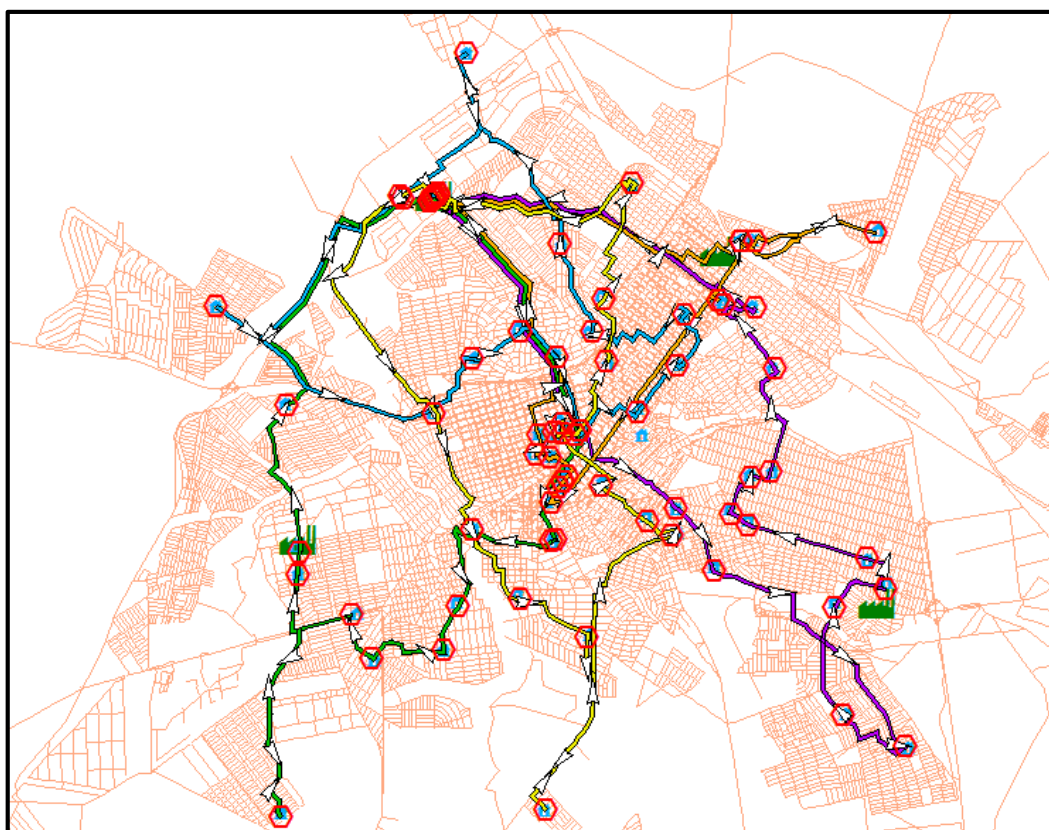
Tabela 24 - Cenário 13 (5 Terminais / 500kg 1500 kg)

Rota	Terminal	Tempo (h)	Distância (m)	Carga (kg)
1	Central	1:08	7.615	100
2	Central	1:09	3.675	447
3	Central	1:07	2.186	463
4	Central	1:04	2.108	413
5	Planalto	6:47	57.611	1.499
6	Santa Luzia	2:42	22.114	492
7	Umuarama	3:48	25.733	1.063
8	Umuarama	3:50	13.860	1.482
9	Industrial	1:47	22.692	252
		23:28	157.593	6.211

Tabela 25 - Cenário 14 (5 Terminais / 500kg 2500 kg)

Rota	Terminal	Tempo (h)	Distância (m)	Carga (kg)
1	Central	1:08	7.615	100
2	Central	1:09	3.675	447
3	Central	1:07	2.186	463
4	Central	1:04	2.108	413
5	Planalto	6:47	57.611	1.599
6	Santa Luzia	2:42	22.114	492
7	Umuarama	3:51	20.635	1.200
8	Umuarama	3:45	17.479	1.245
9	Industrial	1:47	22.692	252
		23:25	156.114	6.211

Após a realização da roteirização de veículos, gerou-se um gráfico das rotas encontradas, conforme o apresentado na Figura 43.

Figura 43 - Rotas do Cenário 12

Fonte: O Autor

4.4.3 Análise dos Resultados

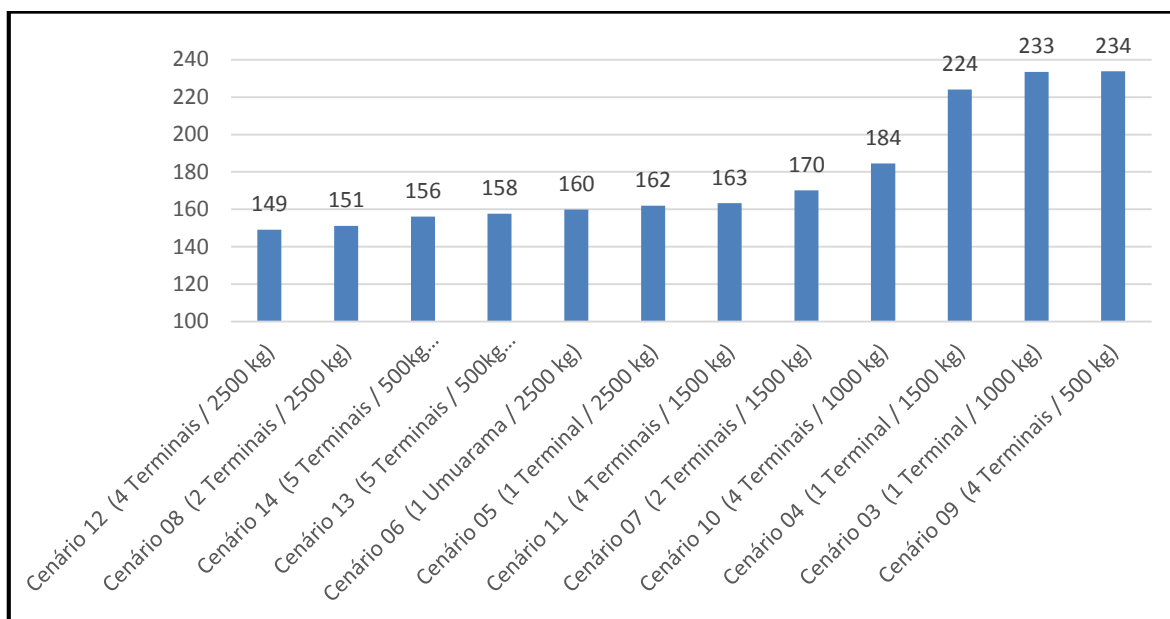
Realizou-se a simulação de 14 cenários, totalizando mais de 100 rotas e 1600 entregas. O *software* TransCAD gera resultados em arquivos textos e tabelas pouco funcionais, sendo assim a tabulação dos dados gerados no item 4.4.2 – Geração de Cenários e a análise dos resultados dispendeu bastante tempo do trabalho apresentado.

Durante o tratamento dos resultados foi importante calcular a coluna “Carga (kg)” de cada tabela do item 4.4.2 – Geração de Cenários, para conferir que todas as entregas foram contempladas em todas os cenários gerados. Após esta conferência, os dados de todos os cenários foram consolidados e estão apresentados na Tabela 26:

Tabela 26 - Consolidação de dados dos Cenários

Cenário	Tempo (min)	Distância (km)
Cenário 02 (1 Terminal / 500 kg)	2031	402
Cenário 03 (1 Terminal / 1000 kg)	1605	233
Cenário 04 (1 Terminal / 1500 kg)	1564	224
Cenário 05 (1 Terminal / 2500 kg)	1405	162
Cenário 06 (1 Umuarama / 2500 kg)	1397	160
Cenário 07 (2 Terminais / 1500 kg)	1427	170
Cenário 08 (2 Terminais / 2500 kg)	1371	151
Cenário 09 (4 Terminais / 500 kg)	1602	234
Cenário 10 (4 Terminais / 1000 kg)	1462	184
Cenário 11 (4 Terminais / 1500 kg)	1412	163
Cenário 12 (4 Terminais / 2500 kg)	1374	149
Cenário 13 (5 Terminais / 500kg 1500 kg)	1408	158
Cenário 14 (5 Terminais / 500kg 2500 kg)	1405	156

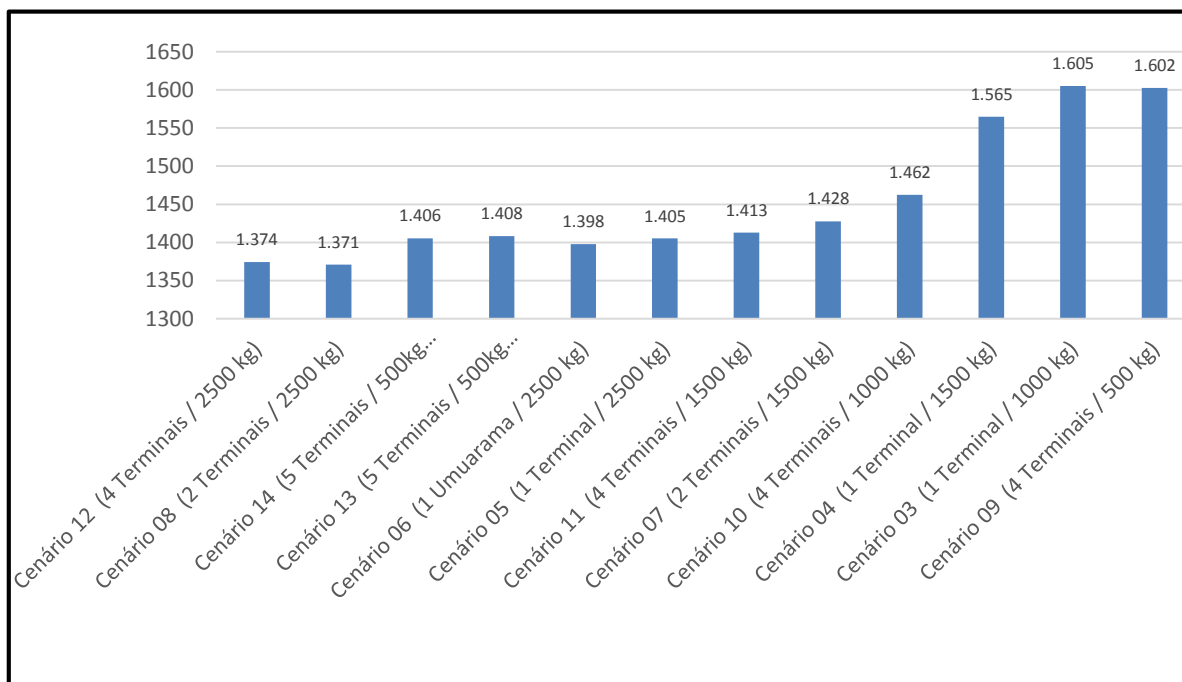
A primeira análise realizada foi em relação a distância total percorrida em cada cenário. Para realizar esta análise, gerou-se o gráfico da Figura 44, onde os cenários são ordenados de forma crescente em relação à distância total percorrida em cada um. A diferença entre a menor distância (Cenário 12, 149 km) e a segunda maior (Cenário 03, 233 km) é de 84 km. O cenário 02, com 402 km percorridos, utilizando apenas o Terminal Industrial e veículos com capacidade de 500 kg, foi excluída da análise por apresentar uma distância muito maior em relação as demais.

Figura 44 - Gráfico de Distâncias (km) percorridas por Cenário

Pode-se observar na Figura 44 que considerando uma variação menor que 10% da distância total percorrida, entre 149 km e 163 km, encontram-se as 4 opções de Terminais estudadas, e 3 opções de tipos de veículo com capacidade entre as 4 propostas. Por outro lado, a utilização de 4 Terminais pode aumentar a distância percorrida em mais de 50% dependendo da capacidade dos veículos utilizados. Estas observações associadas ao fato de que entregas urbanas não são constantes, podendo variar diariamente a quantidade e localização das demandas, indica que, havendo a possibilidade de utilização de Terminais Periféricos, é possível otimizar a distância total percorrida para qualquer configuração de demanda.

Destaca-se na análise da distância total percorrida, a ocorrência do tipo de veículo com capacidade de 2.500 kg sempre dentro da variação entre 149 km e 162 km. Por outro lado deve-se lembrar que a diminuição da capacidade do veículo propicia distribuir a demanda em CDs mais próximos das zonas de entrega, e assim, reduzir o custo global da entrega em concordância com a teoria de Novaes (2007).

A segunda análise foi realizada com relação aos tempos totais de entrega, considerando a soma dos tempos de serviços e de viagens. Na Figura 45 são apresentados os tempos totais encontrados em cada cenário, ordenados de forma crescente.

Figura 45 - Gráfico de Tempos Totais (min) por Cenário

Observa-se que a análise dos tempos totais mantém os mesmos critérios da análise de distâncias percorridas em cada Cenário. A diferença entre o menor tempo (Cenário 12, 1374 minutos) e o segundo maior tempo (Cenário 03, 1605 minutos) é de 16%. O Cenário 02 foi excluído da análise por apresentar um tempo total de 2031 minutos, 48% acima do tempo mínimo. Observa-se a ocorrência das 4 opções de Terminais estudadas nos 5 menores tempos encontrados. Novamente é possível analisar que, havendo a possibilidade de utilização de Terminais Periféricos, é possível otimizar o tempo total das entregas para qualquer configuração de demanda.

Como já mencionado anteriormente, uma característica importante do roteamento gerado pelo *software* TransCAD é que ele não otimiza a quantidade de veículos, mas apenas a rota a ser executada. Isto significa que é preciso avaliar separadamente o agrupamento de rotas que otimiza a quantidade de veículos utilizados para atender a demanda.

Analisando os resultados sob a óptica dos objetivos propostos, podemos avaliar que o Cenário 13 atende a diversos aspectos desejados. As viagens são curtas, possibilitando encaixes no entropico dos passageiros e o estudo do compartilhamento de recursos como veículos e mão-de-obra entre os dois sistemas. Com os CDs mais próximos das Zonas de Entrega o custo global tende a cair. As cargas distribuídas na região central são abaixo de

500 kg e realizadas em aproximadamente 1 hora. Estas características proporcionam a utilização de veículos alternativos como triciclos e outros movidos a eletricidade, colaborando na diminuição do congestionamento na área central da cidade.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

A proposição do estudo de alternativas para o compartilhamento de Terminais entre um Sistema Tronco-Alimentador de Transporte Público de Passageiros e um Sistema de Logística Urbana obteve sucesso, baseando-se em bibliografia acadêmica, na aplicação de metodologias científicas e na realização de simulações computacionais para estudar a viabilidade da proposta.

A redução de custos de entrega urbana através da utilização dos Terminais de Distribuição mais próximos das Zonas de Entrega encontrou em Novaes (2007) o embasamento teórico almejado durante a revisão bibliográfica.

Após o estudo teórico sobre dimensionamento de armazéns, foi realizado o projeto básico de um Terminal Logístico Mínimo, e apresentadas sugestões de implantação em áreas livres dos Terminais de Integração do SIT – Uberlândia. Foram estudados os *layouts* dos quatro terminais periféricos existentes na cidade.

Os Terminais Planalto e Industrial apresentam áreas que comportariam Terminais Logísticos com investimentos baixos quando comparados a construção de um terminal exclusivamente destinado a logística de cargas. O Terminal Umuarama, que mostrou a melhor matriz de custos devido à sua posição próxima às vias centrais, tem uma área livre anexa, porém não foi possível encontrar registros sobre a propriedade municipal ou privada da área. O Terminal Santa Luzia não possui espaço para implantação relevantes, mas sua localização estratégica no corredor João Naves pode proporcionar um fluxo contínuo de mercadorias com destino ao Terminal Central.

A simulação computacional utilizando o *software* TransCAD comprovou a viabilidade de realizar as operações relacionadas à Logística Urbana na janela de tempo entre os horários de pico do Transporte de Passageiros, propiciando o estudo do compartilhamento de outros recursos como mão-de-obra e veículos para o atendimento de demandas nos horários de pico, melhorando o atendimento qualitativo relativo à lotação dos ônibus.

A redução da distância entre os CDs e as zonas de entrega podem viabilizar a utilização de veículos de menor porte e com motorização elétrica, contribuindo na redução dos problemas gerados pela movimentação de cargas na cidade de Uberlândia - MG.

Em Terminais em que a implantação não é possível, estudos posteriores podem sugerir outras formas de compartilhamento como a instalação de Caixas Postais com função de distribuição de cargas. As estações intermediárias dos corredores também podem ser utilizadas com o mesmo objetivo.

Apesar da obtenção de resultados satisfatórios deste trabalho, devem ser estudadas outras variações de parâmetros da rede viária, como velocidades médias e penalizações por cruzamentos e conversões.

Os impactos positivos e negativos no Transporte Público de Passageiros também podem ser mensurados, bem como a utilização de veículos que possam transportar passageiros no horário de pico e cargas durante o horário comercial.

Estudos futuros devem aprofundar na questão do formato do negócio, como concessão ou parceria público-privada, além de questões trabalhistas sobre a utilização de mão-de-obra tanto para logística de cargas quanto para transporte de passageiros durante o horário de pico.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Antônio C.; NOVAES, Antônio G. N. **Logística aplicada: suprimento e distribuição física**. São Paulo: Pioneira, 1997.

ANTP. **Sistema de informações da mobilidade urbana**. Relatório geral sobre a mobilidade urbana no Brasil (www.antp.org.br), 2011.

ARAÚJO, R. S. **Mobilidade urbana na área central: Indicadores de qualidade - pesquisa de opinião 2005 e 2008**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia.

ARAÚJO, F. **Análise dos Padrões de Veículos na Logística Urbana de Cargas**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2013.

BANDEIRA, R.A.M. **Proposta de uma Sistemática de Análise para Localização de Depósitos**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

CALIPER. **Routing and Logistics with TransCAD**. Caliper Corporation, USA: Newton, 2006.

CARRARA, C. M. **Uma aplicação do SIG para a localização e a alocação de terminais logísticos em áreas urbanas congestionadas**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007 <https://doi.org/10.11606/D.18.2007.tde-07022008-111929>

CARRARA, C. M.; FARIA, C.A. **Localização de Terminais Logísticos Urbanos com Uso de Ferramentas SIG: Aplicação à Cidade de Uberlândia**. XX ANPET, Brasília, 2007.

CARVALHO, C. H. R.; PEREIRA, R. H. M. **Efeitos da variação da tarifa e da renda da população sobre a demanda de transporte público coletivo urbano no Brasil**. TRANSPORTES v. 20, n. 1 (2012) p. 31–40 <https://doi.org/10.4237/transportes.v20i1.464>

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT, COPPEAD UFRJ. **A Importância do Transporte de Passageiros para a Eficiência Econômica e Mobilidade da População**. 2013. Disponível em http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Pesquisa%20CNT%20Coppead/coppead_passageiros.pdf. Acesso em 29 mar. 2014.

DUTRA, N.G.S. **O enfoque de “city logistics” na distribuição urbana de encomendas.** Tese de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

FERRAZ, A.C.P.; TORRES, I.G.E. **Transporte Público Urbano.** 2. ed. São Carlos: Rima, 2004.

FRANÇA, P.T.; RUBIN, M. **Transporte Urbano de Mercadorias, Logística Urbana e City Logistics.** Grupo de estudos logísticos – GELOG/UFSC. Florianópolis. [s.d.]. Disponível em : < http://www.gelog.ufsc.br/joomla/attachments/052_2005-2%20-%20Transporte%20Urbano%20de%20Mercadorias,%20Log%C3%ADstica%20Urbana%20e%20City%20Logistics.pdf >. Acesso em 27 out. 2013.

GPS VISUALIZER. Aplicativo web, disponível em www.gpsvisualizer.com/geocoder/, acessado em dez. 2014.

GUERRERO, Pablo; FIORAVANTI, R.; GRASSIA, E. **Os desafios da logística urbana.** Portal LogWeb, 2010. Disponível em <http://www.logweb.com.br/novo/conteudo/noticia/23887/os-desafios-da-logistica-urbana>. Acesso em 27 out. 2013.

HASSALL, K. *The public logistics terminal*, *Public Infrastructure Bulletin*: Vol. 1: Iss. 5, Article 6. Disponível em: <http://epublications.bond.edu.au/pib/vol1/iss5/6>, 2005

IGNÁCIO, P.S.A.; YANSEN, A.C. **Cálculo de docas e baias de recebimento e expedição para projetos logísticos utilizando simulação.** Revista Cargo News, ano XII Nº 125, 2010

MINISTÉRIO DAS CIDADES; SeMob. **PlanMob: Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana.** Brasília, 2007.

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

OBSERVATÓRIO CIDADÃO NOSSA SÃO PAULO. **Município de São Paulo - Transporte e Mobilidade Urbana.** Disponível em: <http://www.nossasaopaulo.org.br/observatorio/regioes.php?regiao=33&tema=13&indicador=139>. Acesso em 23 out. 2013.

OLIVEIRA, A.; FREITAS M.; OZORIO, A.; FARIA, R.C.; OLIVEIRA, F.; DANTAS, A. **Panorama da mobilidade urbana: diagnóstico e propostas para o transporte público por ônibus.** 19º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito. Brasília, 2013.

ORTUZAR, J.D.; WILLUMSEN, L.G. **Modelling Transport.** 4ª Ed. John Wiley & Sons Ltda. London, UK. 2011. <https://doi.org/10.1002/9781119993308>

PAULA, M. Â. A. F. . **Analysis of Vehicle Routing via TransCAD - a contribution to Urban Freight Distribution.**. Berlim: LAP Lambert Academic Publishing, 2010. v. 1. 104p

RESENDE, A. R. **Frota de distribuição: dimensionamento e análise de viabilidade operacional.** Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2014.

RESENDE, P. T. V.; SOUZA, P.R.; SILVA, J. V. R. **Proposição para o cálculo dos impactos do congestionamento na tarifação do transporte público de passageiros por ônibus em cinco capitais brasileiras.** Revista do Transporte Público, 2010; ANTP; Ano 33; pp 47-68.

RODRIGUE, J.P.; COMTOIS, C.; SLACK, B. *The Geography of Transport Systems*. 1st ed. Simultaneously published in the USA and Canada by Routledge, 2006

RODRIGUES, M. A. ; SORRATINI, J. Ap. **A qualidade no transporte coletivo urbano.** In: XXII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2008, Fortaleza, CE. Panorama nacional da pesquisa em transportes 2008: XXII ANPET. Rio de Janeiro, RJ: ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2008. p. 1081-1092

SBARDELOTTO, L.F. **Planejamento interno do armazém em um operador logístico: estudo de caso de um cliente.** Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, Escola de Engenharia, Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em <http://hdl.handle.net/10183/32225>. Acessado em 20 dez. 2014.

SETTRAN – Secretaria Municipal de Transito e Transportes de Uberlândia MG. **Estatísticas BDI SETTRAN – Dados Técnicos do CTA Estatísticas 2013.** Disponível em http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms_b_arquivos/1586.pdf. Acessado em 17 jul. 2013.

SILVA, E. W. **Modelos de carregamento de cargas em veículos de distribuição e os impactos na produtividade das entregas e no nível de serviço.** Dissertação de Mestrado em Engenharias - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

SILVEIRA, Tacito Pio . **A Questão Metropolitana: Inventário de Planos de Transporte Coletivo Em São Paulo.** In: 18 Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito, 2011, Rio de Janeiro. Biblioteca de trabalhos apresentados no 18 Congresso da ANTP, 2011.

SINAY, M. C. F. ; NOVAES, A. G. ; CAMPOS, V. B. G. ; DEXHEIMER, L. . **Distribuição de Carga Urbana: Componentes, Restrições e Tendências.** In: Rio de Transportes II, 2004, Rio de Janeiro. Rio de Transportes II, 2004. v. 1.

TANIGUCHI, E.; THOMPSON, R.G.; YAMADA, T. **City Logistics: network modelling and intelligent transport systems.** Pergamon, Oxford. Elsevier, 2001.
<https://doi.org/10.1108/9780585473840>

THOMPSON, R. G. (2003) Auslink Green Paper Submission, Freight and Logistics Group, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of

Melbourne. February 2003. Disponível em:
http://www.infrastructure.gov.au/transport/publications/files/tertiary_ed_and_research/Russell_G_Thompson.pdf, 2012.

TONDATO, **Desenvolvimento de um modelo matemático para dimensionamento de armazéns com estruturas porta paletes**. Tese de doutorado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

VALENTE, Amir M.; PASSAGLIA, Eunice; NOVAES, Antônio G. **Gerenciamento de transporte e frotas**. 2. ed.rev. – São Paulo: Cengage Learning, 2008.

VASCONCELLOS, E. A. **O Custo Social da Motocicleta no Brasil**. Revista do Transporte Público, 2008; ANTP; Ano 30/31; pp 127-142.

VLT UBERLÂNIDA, **Estudo Prévio de Viabilidade Técnica para a Implantação de Veículo Leve sobre Trilhos – VLT em Uberlândia-MG**. Livro I. Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia, Comissão de trabalho interdisciplinar, 2014.
Disponível no site <http://www.vltuberlandia.com/#publicacoes>. Acessado em 21 dez. 2014.

WRIGHT, L.; HOOK, W. **Manual de BRT – Bus Rapid Transit – Guia de Planejamento**. Brasília: Institute for Transportation & Development Policy; Brasil, Ministério das Cidades, 2008.

ANEXO A – TABELAS DE TEMPOS E DESPACHOS

Tempos de Despachos para Calibração do Modelo

Manifesto		Qtde de entregas	Tempo de descarregamento * (min.)	Tempo de percurso urbano ** (min.)	Tempo total *** (min.)	Tempo médio total por entrega (min.)
1	57046	29	149	160	309	10,7
2	57050	24	448	130	578	24,1
3	57056	15	112	94	206	13,7
4	57068	10	225	85	310	31,0
5	57084	20	209	133	342	17,1
6	57087	15	108	131	239	15,9
7	57103	18	159	163	322	17,9
8	57112	16	377	58	435	27,2
9	57118	24	139	158	297	12,4
10	57136	29	265	152	417	14,4
11	57137	23	222	210	432	18,8
12	57156	17	128	117	245	14,4
13	57161	8	99	129	228	28,5
14	57168	18	132	110	242	13,4
15	57179	23	134	177	311	13,5
16	57183	14	172	131	303	21,6
17	57195	25	181	143	324	13,0
18	57198	20	194	209	403	20,2
19	57204	7	106	112	218	31,1
20	57206	28	168	262	430	15,4
21	57225	19	164	119	283	14,9
22	57226	15	146	183	329	21,9
23	57235	15	81	100	181	12,1
24	57239	15	191	128	319	21,3
25	57249	18	330	116	446	24,8
26	57250	11	91	87	178	16,2
27	57262	22	101	130	231	10,5
28	57264	20	161	196	357	17,9
29	57277	13	102	112	214	16,5
30	57280	20	167	196	363	18,2
31	57292	24	163	123	286	11,9
32	57310	20	109	146	255	12,8
33	57313	16	215	224	439	27,4
34	57324	17	104	125	229	13,5
35	57326	24	286	199	485	20,2
36	57335	24	182	162	344	14,3
37	57338	16	171	154	325	20,3
38	57368	29	173	212	385	13,3
39	57371	26	207	227	434	16,7
40	57382	26	228	215	443	17,0
TOTAL		773	7.099	6.018	13.117	17,0

Demandas de Despachos para Gerar Cenários

ID	LONGITUDE	LATITUDE	ENDEREÇO	PESO (kg)	VOL	VALOR (R\$)	FRETE (R\$)
1	48292608	18901373	R. José Lemos Garcia, 02	12,5	1	1.567,70	35,40
2	48278351	18919095	Av. Paulo Gracindo, 15	15,4	1	1.207,80	33,20
3	48322680	18908917	R. Manto, 28	4,5	1	1.924,00	29,30
4	48285416	18936968	R. Sapucaí, 51	39,6	2	899,00	46,60
5	48233075	18954372	R. Dorivaldo Oliveira Pinto, 54	73,0	27	2.269,00	51,60
6	48307930	18947298	R. dos Periquitos, 100	36,3	1	3.671,40	42,10
7	48279172	18884301	R. Lamartine Babo, 108	4,8	1	1.960,90	37,40
8	48248935	18925339	R. José Miguel Saramago, 130	80,7	21	1.710,90	56,40
9	48235029	18937445	R. Jamil Tannus, 131	40,5	3	3.358,30	41,70
10	48248953	18882889	Av. Cesário Alvim, 157	4,8	1	1.621,80	37,20
11	48280373	18916162	Av. Getulio Vargas, 161	9,6	1	3.122,00	38,50
12	48245331	18917898	R. Alberto Alves Cabral, 162	9,0	2	845,30	42,40
13	48248768	18892974	R. José Agostinho, 188	16,1	2	2.551,20	60,10
14	48279849	18900649	Av. Adriano Bailoni, 210	4,8	1	1.586,60	36,80
15	48272836	18891743	Av. Arnaldo Contursi, 225	17,4	1	359,10	37,80
16	48278351	18919095	R. Airdo Rubens Borba, 230	54,0	9	2.618,30	76,20
17	48292477	18927094	R. José Bonifácio, 258	8,5	2	2.240,00	47,70
18	48283313	18915672	R. Rodrigues da Cunha, 298	24,9	1	319,00	34,50
19	48274677	18897212	R. Claudio Silveira, 304	67,5	18	2.414,00	54,70
20	48310727	18940345	R. do Motorista, 327	40,6	1	134,10	53,70
21	48279694	18912892	Av. Vasconcelos Costa, 340	16,3	15	2.540,00	43,10
22	48294917	18938296	R. José Oliveira Pinto, 350	86,1	26	2.204,00	62,30
23	48229064	18881153	R. Euclides Ferreira Tavares, 367	178,2	1	1.529,00	74,80
24	48268219	18874849	R. Garcia Lorca, 386	6,0	1	874,20	50,20
25	48280597	18969562	R. Argemiro Evangelista Ferreira, 400	49,0	6	3.755,00	43,30
26	48279312	18910600	Av. Fernando Vilela, 419	129,0	11	392,80	85,00
27	48254309	18932482	R. Francisco Pinto, 420	79,2	1	559,00	39,90
28	48304979	18877194	Av. José Andraus Gassani, 438	124,5	8	8.620,00	112,50
29	48226725	18934391	R. Joaquim Carlos Fonseca, 456	16,5	2	2.180,10	37,50
30	48320153	18934343	R. Mario Ribeiro dos Santos, 459	39,5	1	300,60	43,90
31	48277790	18918262	Av. Afonso Pena, 540	456,6	79	3.282,00	247,60
32	48278636	18920872	R. Olegário Maciel, 543	4,8	1	2.239,80	37,20
33	48251965	18923633	Av. Lazara Alves Ferreira, 580	34,9	2	142,20	43,10
34	48279748	18928853	R. Augusto Cesar, 611	67,8	9	2.958,30	82,60
35	48248769	18918499	Av. Segismundo Pereira, 673	11,0	1	1.976,00	36,90
36	48260434	18901979	Av. Rondon Pacheco, 700	3,9	1	458,00	38,10
37	48278439	18911566	Av. Belo Horizonte, 765	3,9	1	500,00	37,60
38	48304979	18877194	Av. José Andraus Gassani, 800	36,3	1	3.073,70	41,30
39	48260509	18923669	R. Antônia Saltão de Almeida, 839	14,7	1	1.139,90	76,80
40	48286063	18896669	Av. Morum Bernardino, 851	69,9	1	683,10	75,70
41	48294719	18855479	R. Will Cargill, 880	1,0	1	28,00	33,30
42	48296765	18945562	R. das Juritis, 891	40,6	1	149,00	53,80
43	48265169	18924854	R. Timbiras, 916	4,2	1	744,90	36,50
44	48222997	18959212	R. Serra Negra, 929	66,0	7	705,30	70,00
45	48245519	18902329	Av. Espanha, 985	4,8	1	1.618,90	37,20
46	48333908	18894317	Av. Taylor Silva, 988	13,0	1	2.524,00	33,90
47	48278351	18919095	R. Jamil Tannus, 1045	10,8	2	2.245,00	47,70
48	48273869	18942939	Av. Francisco Galassi, 1046	23,0	6	782,00	53,70
49	48320437	18930179	R. Dimas Machado, 1055	126,0	6	859,00	58,70
50	48271619	18902039	R. Jataí, 1150	32,4	3	4.589,00	40,50
51	48280898	18922840	Av. Afonso Pena, 1180	367,1	33	4.537,00	273,20
52	48275786	18913239	Av. João Pinheiro, 1199	7,5	2	1.598,20	43,40
53	48282291	18912674	Av. Belo Horizonte, 1231	6,9	7	668,00	64,80
54	48322199	18970614	R. Jerusalém, 1238	34,5	1	765,60	31,00

55	48279864	18928331	R. Carajás, 1388	26,7	1	1.813,90	39,90
56	48260071	18927282	R. São Francisco de Assis, 1390	4,8	1	1.542,30	39,10
58	48250644	18882964	Av. Floriano Peixoto, 1551	14,0	1	594,80	45,50
59	48229952	18930864	Av. Francisco Ribeiro, 1555	28,7	9	11.587,80	100,20
60	48278351	18919095	R. Jose Lellis França, 1608	4,5	1	2.239,80	37,30
61	48275879	18911809	Av. Brasil, 1670	14,4	10	2.805,00	38,20
62	48253419	18892469	R. Feliciano Moraes, 1782	38,8	3	2.259,90	52,80
63	48250644	18882964	Av. Floriano Peixoto, 1986	127,9	15	760,60	91,00
64	48266780	18908560	Av. Cesário Alvim, 2020	385,0	25	12.417,00	250,30
65	48272109	18919859	R. Quintino Bocaiuva, 2607	6,3	1	1.342,00	37,20
66	48299328	18909730	R. Indianópolis, 2695	35,1	10	3.765,00	60,00
67	48259830	18894201	Av. Afonso Pena, 2883	49,8	8	1.311,80	88,00
68	48275879	18911809	Av. Brasil, 2976	216,0	12	2.189,00	161,20
69	48275879	18911809	Av. Brasil, 3887	47,6	3	5.256,00	45,10
70	48254319	18891929	Av. Cesário Alvim, 4425	54,3	2	4.112,00	86,70
71	48250644	18882964	Av. Floriano Peixoto, 6500	31,2	6	7.567,00	43,30
73	48248769	18918499	Av. Segismundo Pereira, 1248	5,3	3	815,00	37,10
74	48322046	18902755	R. dos Tarois, 449	12,0	1	538,00	38,70
75	48279083	18921967	R. Santos Dumont, 629	12,5	1	978,00	36,90
76	48278351	18919095	R. Ana Valentina Nogueira, 1290	23,0	2	3.573,00	47,70
77	48250644	18882964	Av. Floriano Peixoto, 2211	326,2	46	5.266,00	195,60
78	48284776	18922807	R. Bernardo Guimarães, 664	16,2	2	52,50	36,60
79	48291218	18923220	Av. Marcos de Freitas Costa, 11	8,8	1	2.892,00	38,60
80	48278749	18874969	R. Paraíba, 3055	15,9	1	6.176,00	35,60
81	48246429	18919109	R. Pedro José Samora, 979	17,9	1	1.806,00	37,90
82	48279849	18900649	Av. Adriano Bailoni, 210	325,0	19	5.235,00	178,80
83	48263905	18899492	Av. Afonso Pena, 2120	16,9	8	2.048,00	43,60
84	48260884	18877264	Av. Paulo Roberto Cunha Santos, 2520	1,0	1	80,00	34,90
85	48276709	18909830	Av. Fernando Vilela, 110	431,0	48	2.817,00	240,20
86	48250103	18919996	Av. Ana Godoy de Souza, 514	12,1	1	3.311,00	39,50
87	48264237	18887645	R. José Rezende dos Santos, 1490	180,6	2	186,00	84,50
88	48296543	18919872	R Bernardo Cupertino, 57	75,6	8	1.122,00	48,60
89	48256646	18893858	R. José Alves Garcia, 325	5,9	2	933,00	36,70
90	48266454	18908076	Av. Cesário Alvim, 2079	62,9	16	2.276,00	54,10
91	48284928	18918589	Av. Raulino Cota Pacheco, 65	7,3	2	2.280,00	41,10
92	48250644	18882964	Av. Floriano Peixoto, 3920	819,0	36	77.271,00	458,20
93	48262425	18897453	Av. Afonso Pena, 2405	182,0	8	12.448,00	94,50
94	48278351	18919095	Rod BR 365 km 610	6,0	1	680,00	120,40
95	48312692	18895326	Av. Cel. José Teófilo Carneiro, 1001	59,3	25	5.389,00	53,20
96	48272619	18916483	Av. Cesário Alvim, 880	1,0	1	28,00	39,80
97	48260884	18877264	Av. Paulo Roberto Cunha Santos, 2085	103,2	13	2.878,00	150,30
98	48278351	18919095	Rod BR 365 km 1100	12,0	1	7.500,00	45,30
99	48297889	18917344	Av. Marcos de Freitas Costa, 1140	85,9	7	8.640,00	48,80
100	48277582	18909635	Av. João Pessoa, 830	4,8	1	2.101,00	36,90
101	48374159	18987919	Av. Aldo Borges Leão, 5000	1,0	1	28,00	39,80
102	48269822	18898207	R. Belém, 2	1,0	1	630,00	32,60
103	48279778	18909471	Av. Engº Diniz, 581	174,4	7	2.948,00	113,40
TOTAL				6.909,2	719		

ANEXO B – SIMULAÇÕES PARA CALIBRAÇÃO DO MODELO TRANSCAD

SIMULAÇÃO A

Itinerary Report

Route # : 1 Tot Time: 3:39 Capacity : 1500.0
 Veh. Type: 1 Tot Dist: 66044.1 Depart Load: 1210.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
2		7:33am		
1 49		8:00am- 8:00am	12090.9	126.0
2 30		8:02am- 8:02am	422.5	39.0
3 20		8:08am- 8:08am	2027.5	40.0
4 54		8:29am- 8:29am	4579.8	34.0
5 6		8:51am- 8:51am	4566.5	36.0
6 42		9:00am- 9:00am	1551.2	40.0
7 22		9:05am- 9:05am	855.7	86.0
8 4		9:18am- 9:18am	3577.6	39.0
9 34		9:26am- 9:26am	1457.3	67.0
10 55		9:27am- 9:27am	62.3	26.0
11 56		9:36am- 9:36am	2645.7	4.0
12 29		9:46am- 9:46am	4255.6	16.0
13 44		10:04am-10:04am	3686.1	66.0
14 5		10:12am-10:12am	1667.1	73.0
15 9		10:21am-10:21am	2721.2	40.0
16 59		10:26am-10:26am	1706.5	28.0
17 43		10:37am-10:37am	4050.3	4.0
18 51		10:48am-10:48am	2330.3	367.0
19 16		10:50am-10:50am	456.0	54.0

20 2	10:50am-10:50am	15.0
21 47	10:50am-10:50am	10.0
END 2	11:13am	11333.1

Total	66044.1	1210.0

Route # : 2	Tot Time: 1:59	Capacity : 1500.0
Veh. Type: 1	Tot Dist: 42101.5	Depart Load: 1500.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
2		7:38am		
1 32		8:00am- 8:00am	10986.5	4.0
2 60		8:01am- 8:01am	121.2	4.0
3 31		8:01am- 8:01am	125.5	456.0
4 65		8:06am- 8:06am	763.8	6.0
5 48		8:14am- 8:14am	3366.0	22.0
6 25		8:25am- 8:25am	3519.6	49.0
7 17		8:43am- 8:43am	6925.0	8.0
8 11		8:48am- 8:48am	2512.9	9.0
9 18		8:51am- 8:51am	490.0	24.0
10 53		8:53am- 8:53am	432.2	6.0
11 21		8:55am- 8:55am	383.8	16.0
12 26		8:57am- 8:57am	359.5	129.0
13 37		8:59am- 8:59am	431.7	3.0
14 68		9:00am- 9:00am	300.8	216.0
15 69		9:00am- 9:00am		47.0
16 61		9:00am- 9:00am		14.0
17 52		9:03am- 9:03am	457.3	7.0
18 64		9:12am- 9:12am	1523.3	385.0
19 36		9:17am- 9:17am	1134.3	3.0
20 62		9:21am- 9:21am	1569.2	38.0
21 70		9:22am- 9:22am	124.7	54.0

END 2	9:38am	6573.3	

Total		42101.5	1500.0

Route # : 3	Tot Time: 2:53	Capacity : 1500.0
Veh. Type: 1	Tot Dist: 53944.7	Depart Load: 1074.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
2		7:47am		
1 46		8:00am- 8:00am	5590.4	13.0
2 3		8:10am- 8:10am	2541.0	4.0
3 66		8:16am- 8:16am	3023.9	35.0
4 1		8:22am- 8:22am	1616.9	12.0
5 40		8:25am- 8:25am	1028.3	69.0
6 7		8:35am- 8:35am	2134.6	4.0
7 15		8:43am- 8:43am	1481.5	17.0
8 19		8:46am- 8:46am	731.1	67.0
9 14		8:50am- 8:50am	1001.2	4.0
10 50		8:54am- 8:54am	1130.4	32.0
11 67		9:03am- 9:03am	2064.5	49.0
12 39		9:13am- 9:13am	4080.6	14.0
13 27		9:19am- 9:19am	1306.4	79.0
14 8		9:26am- 9:26am	1360.6	80.0
15 33		9:27am- 9:27am	439.3	34.0
16 35		9:32am- 9:32am	849.9	11.0
17 12		9:33am- 9:33am	500.3	9.0
18 45		9:42am- 9:42am	2500.5	4.0
19 13		9:46am- 9:46am	1455.8	16.0
20 10		9:53am- 9:53am	1822.1	4.0
21 23		10:00am-10:00am	2675.3	178.0
22 71		10:07am-10:07am	2747.7	31.0
23 63		10:07am-10:07am		127.0
24 58		10:07am-10:07am		14.0
25 24		10:16am-10:16am	2618.7	6.0
26 41		10:29am-10:29am	4878.7	1.0
27 38		10:37am-10:37am	3601.6	36.0
28 28		10:37am-10:37am		124.0

END 2	10:40am	762.1	

Total		53944.7	1074.0

Simulação B

Itinerary Report

Route # : 1 Tot Time: 9:53 Capacity : 2500.0
 Veh. Type: 1 Tot Dist: 80717.6 Depart Load: 1786.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
2		8:00am		
1	4361	8:03am- 8:19am	762.1	124.0
2	4769	8:26am- 8:30am	3259.4	15.0
3	4985	8:40am- 8:43am	3975.2	16.0
4	4977	8:49am- 8:51am	1288.2	4.0
5	4889	8:59am- 9:02am	2109.1	9.0
6	4881	9:04am- 9:08am	279.7	17.0
7	4865	9:08am- 9:11am	220.6	11.0
8	4873	9:11am- 9:14am		5.0
9	4857	9:15am- 9:19am	274.3	12.0
10	4817	9:22am- 9:28am	575.0	34.0
11	4841	9:29am- 9:40am	353.6	80.0
12	5073	9:45am- 9:50am	2079.7	28.0
13	5065	9:54am- 9:58am	844.3	16.0
14	4849	10:01am-10:07am	1136.8	40.0
15	5049	10:22am-10:31am	3105.4	66.0
16	5057	10:40am-10:51am	1592.2	73.0
17	4809	11:05am-11:16am	3962.6	79.0
18	4793	11:23am-11:26am	1237.6	4.0
19	4801	11:28am-11:31am	475.4	14.0

20 4785	11:35am-11:38am	742.6	4.0
21 4681	11:43am-11:46am	1082.4	6.0
22 4489	11:54am-12:36pm	1383.1	367.0
23 4513	12:38pm-12:41pm	212.3	12.0
24 4521	12:42pm-12:44pm	122.4	4.0
25 4577	12:45pm-12:48pm	121.2	12.0
26 4569	12:48pm-12:51pm		6.0
27 4561	12:51pm-12:56pm		23.0
28 4553	12:56pm-12:58pm		4.0
29 4545	12:58pm- 1:01pm		10.0
30 4537	1:01pm- 1:09pm		54.0
31 4529	1:09pm- 1:13pm		15.0
32 4481	1:20pm- 1:25pm	1382.1	26.0
33 4473	1:25pm- 1:35pm	62.3	67.0
34 4417	1:42pm- 1:48pm	1382.7	39.0
35 4393	1:53pm- 1:58pm	1450.1	23.0
36 4385	2:12pm- 2:19pm	3408.0	49.0
37 4305	2:38pm- 2:44pm	6549.4	36.0
38 4377	2:53pm- 3:00pm	1551.2	40.0
39 4401	3:05pm- 3:16pm	855.7	86.0
40 4297	3:26pm- 3:32pm	2008.8	40.0
41 4289	3:52pm- 3:57pm	4566.2	34.0
42 4281	4:21pm- 4:23pm	7823.5	1.0
43 4321	4:46pm- 4:52pm	9239.0	39.0
44 4329	4:53pm- 5:09pm	422.5	126.0
45 4337	5:26pm- 5:28pm	2868.3	4.0
46 4345	5:33pm- 5:36pm	967.0	12.0

END 2	5:53pm	4983.6
Total		80717.6 1786.0

Route # : 2	Tot Time: 7:57	Capacity : 2500.0
Veh. Type: 1	Tot Dist: 35933.2	Depart Load: 2470.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery
2		8:00am		
1	4777	8:20am- 8:23am	4056.5	6.0
2	5001	8:32am- 8:48am	2617.9	127.0
3	4993	8:48am- 8:52am		14.0
4	5017	8:52am- 9:29am		326.0
5	5009	9:29am- 9:35am		31.0
6	5025	9:35am-11:07am		819.0
7	5081	11:17am-11:38am	2655.8	178.0
8	5033	11:49am-11:52am	2276.6	4.0
9	4929	11:56am-11:59am	1636.3	5.0
10	4921	12:01pm-12:08pm	636.9	49.0
11	4601	12:22pm-12:26pm	3931.6	16.0
12	4505	12:27pm-12:30pm	455.1	9.0
13	4457	12:34pm-12:38pm	974.3	16.0
14	4433	12:43pm-12:54pm	1794.1	85.0
15	4425	12:57pm- 1:07pm	351.4	75.0
16	4409	1:13pm- 1:16pm	1053.1	8.0
17	4449	1:19pm- 1:22pm	613.8	8.0
18	4465	1:25pm- 1:27pm	1006.9	7.0
19	4497	1:30pm- 1:35pm	545.6	24.0
20	4593	1:36pm- 1:39pm	432.2	6.0

21 4617	1:41pm- 1:43pm	455.5	3.0
22 4689	1:48pm- 1:50pm	1490.2	1.0
23 4825	1:53pm- 2:38pm	1035.4	385.0
24 4833	2:38pm- 2:47pm	89.8	62.0
25 4905	2:50pm- 2:53pm	1044.4	3.0
26 4897	2:56pm- 3:00pm	603.0	16.0
27 4913	3:01pm- 3:23pm	272.1	182.0
28 4753	3:28pm- 3:30pm	1156.5	1.0
29 4761	3:40pm- 3:43pm	2152.0	4.0
END 2	3:57pm	2595.0	

Total		35933.2	2470.0

Route # : 3 Tot Time: 7:33 Capacity : 2500.0
 Veh. Type: 1 Tot Dist: 37317.4 Depart Load: 2488.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery

2		8:00am		
1 5041		8:14am- 8:16am	3282.5	1.0
2 4945		8:32am- 8:38am	6682.5	38.0
3 4937		8:39am- 8:47am	124.7	54.0
4 4961		8:54am- 8:56am	2549.1	1.0
5 4969		8:56am- 9:09am	103.0	
6 4953		9:13am- 9:35am	1446.9	180.0
7 4745		9:41am- 9:45am	1362.3	17.0
8 4737		9:48am- 9:58am	731.1	67.0
9 4729		10:01am-10:06am	586.2	32.0
10 4665		10:10am-10:13am	1264.9	4.0

11 4673	10:13am-11:02am	431.0	
12 4633	11:03am-11:06am	232.4	14.0
13 4649	11:06am-11:14am	47.0	
14 4641	11:14am-11:39am	216.0	
15 4625	11:42am-11:45am	457.3	7.0
16 4585	11:50am-12:42pm	869.6	456.0
17 4657	12:48pm- 1:04pm	1088.7	129.0
18 4609	1:04pm- 1:25pm	135.2	174.0
19 4713	1:30pm- 1:33pm	1202.9	4.0
20 4721	1:33pm- 2:11pm	325.0	
21 4705	2:14pm- 2:24pm	915.3	69.0
22 4697	2:27pm- 2:31pm	1022.3	12.0
23 4441	2:38pm- 2:44pm	1572.9	35.0
24 4353	2:54pm- 3:02pm	2525.0	59.0
25 4313	3:14pm- 3:17pm	3897.6	13.0
END 2	3:33pm	5367.3	

Total		37317.4	2488.0

Route # : 4 Tot Time: 0:14 Capacity : 2500.0
 Veh. Type: 1 Tot Dist: 1498.0 Depart Load: 36.0

No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Delivery

2		8:00am		
1 4369		8:03am- 8:09am	762.1	36.0
END 2		8:14am	735.8	

Total			1498.0	36.0