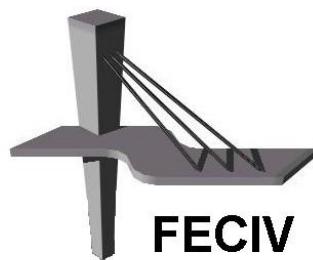




UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE DAS VIABILIDADES DE
IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE REDE
SEMIPÚBLICA DE TRANSPORTE COLETIVO EM
UBERLÂNDIA, MG**



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



Luciano Nogueira

**ANÁLISE DAS VIABILIDADES DE IMPLANTAÇÃO E
OPERAÇÃO DE REDE SEMIPÚBLICA DE TRANSPORTE
COLETIVO EM UBERLÂNDIA, MG**

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

Orientador: Prof. Dr. José Aparecido Serratini

UBERLÂNDIA

Junho, 2015

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

N778a Nogueira, Luciano,
Análise das viabilidades de implantação e operação de rede
semipública de transpte coletivo em Uberlândia, MG / Luciano
Nogueira. - 2015.
96 f. : il.

Orientador: José Aparecido Serratini.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Inclui bibliografia.

1. Engenharia civil - Teses. 2. Transportes coletivos - Uberlândia
(MG) - Teses. 3. Sistemas de informação geográfica - Teses. 4. - Teses.
I. Serratini, José Aparecido. II. Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.



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: 143/2015

CANDIDATO: Luciano Nogueira

ORIENTADOR: Prof. Dr. José Aparecido Sorratini

TÍTULO: "Análise das viabilidades de implantação e operação de rede semipública de transporte coletivo em Uberlândia, MG"

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

LINHA DE PESQUISA: Planejamento e Infraestrutura Urbana e de Transporte

DATA DA DEFESA: 12 de junho de 2015

LOCAL: Sala 5M-01

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 09h05 - 10h50

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: Além das recomendações e sugeridas da banca examinadora
o candidato mostrou exímias aptidões de defesa

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

Jose A. P. Sorratini

Professor Orientador: **Prof. Dr. José Aparecido Sorratini – FECIV/UFU**

Membro externo: Prof. Dr. Marcos Antonio Garcia Ferreira – DECIV/UFSCar

Membro interno: Prof. Dra. Camilla Miguel Carrara Lazzarini – FECIV/UFU

Uberlândia, 12 de junho de 2015.

Nogueira, L. Análise das viabilidades de implantação e operação de rede semipública de transporte coletivo em Uberlândia, MG. 96 f. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade econômico-financeira de implantação e operação de uma rede semipública de transporte coletivo urbano para atendimento da demanda de deslocamento dos funcionários de uma empresa privada, de suas residências até o trabalho, e vice-versa, em Uberlândia, MG. A rede poderá ser uma alternativa ao transporte coletivo convencional utilizado pelos funcionários atualmente. O estudo foi desenvolvido considerando especificamente a demanda gerada pelos funcionários residentes no Bairro Santa Mônica, cujos endereços foram georreferenciados e introduzidos em um mapa digital. Os dados foram inseridos no *software* TransCAD a fim de serem determinados os agrupamentos (*clusters*) correspondentes aos pontos de parada dos ônibus, levando-se em consideração a distância máxima de caminhada dos usuários para terem acesso ao serviço. Por meio do *software* TransCAD foram realizados estudos de otimização de rotas e tempos de viagem, tendo como parâmetros as características dos veículos de transporte coletivo, possibilitando a criação da programação da operação da rede de transporte. Uma vez determinadas as variáveis operacionais da rede, foi estruturada a tarifação do serviço, com o uso da metodologia adotada pelo GEIPOT. Na parte final do trabalho foi realizada uma análise de viabilidade econômico-financeira de implantação e operação da rede semipública, comparando-se os valores incorridos pela empresa no custeio do Vale-Transporte com aqueles calculados nos estudos de tarifação. O trabalho realizado permite concluir que é possível que a empresa implante e mantenha uma rede própria de transporte, com custos compatíveis com aqueles destinados ao Vale-Transporte e com níveis de serviço superiores aos praticados pelo serviço de transporte coletivo público na cidade.

Palavras-chave: Transporte coletivo urbano, transporte semipúblico, roteirização, tarifação, viabilidade econômico-financeira, sistema de informações geográficas.

Nogueira, L. Viability study to deploy and operate a paratransit network in Uberlândia, MG. 96p. Master Thesis, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2015.

ABSTRACT

The aim of this work is to study the economic-financialviability to deploy and operate a paratransit network to meet demands of commuting trips for employees of a private company in Uberlândia, MG. The study was developed based on employees who leave in the Santa Mônica neighborhood, whose addresses were geocoded and inputted on a digital map. The information was inputted in the TransCAD software in order to determine clusters corresponding to bus stops considering the maximum walking distance for passengers to have access to the service. Optimization studies of routing and trip times were done, taking into account the vehicle capacity as a parameter, which allowed for the scheduling of the transportation service. Once calculated the operational parameters, the fares were calculated by using the methodology adopted by GEIPOT. In the end, it was performed an economic and financial viability of implementing and operating the paratransit service. It was compared the amounts incurred by the company in funding the Vale-Transporte Program with those indicated in the farestudies. The work concluded that the company could deploy and maintain their own network to transport its employees, with equivalent costs, if compared to Vale-Transporte Program, and higher service level, if compared to regular bus service.

Keywords:Urban public transportation, paratransit, routing, fare, economic-financial viability, geographic information system.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Intensidade de atividades e a distância percorrida utilizando-se transporte particular	32
Figura 2 – Percentual do produto interno bruto regional utilizado no custeio do sistema de transporte, em função do uso da rede pública	33
Figura 3 – Índice de impactos negativos do trânsito	35
Figura 4 – Delimitação da área de estudo.....	40
Figura 5 – Mapa digital da cidade de Uberlândia.....	42
Figura 6 – Arquivo geográfico de linhas, com arcos e nós	43
Figura 7 – Estrutura do <i>dataview</i> do arquivo Linhas Santa Mônica	44
Figura 8 – Criação do arquivo de rede	45
Figura 9 – Criação do arquivo de rede, criação de arcos (links)	45
Figura 10 – Representação das residências dos funcionários.....	47
Figura 11 – Agrupamento da demanda em 35 pontos de concentração	50
Figura 12 – Local dos 35 pontos de embarque e desembarque	51
Figura 13 – Tipos de ônibus- Convencional (à esquerda), <i>Padron</i> (ao centro) e Especial (à direita).....	51
Figura 14 – Configuração da função de roteirização para o depósito	53
Figura 15 – Configuração dos dados dos pontos de embarque e desembarque	55
Figura 16 – Criação das matrizes de roteirização	56
Figura 17 – Criação do arquivo de veículos	57
Figura 18 – Itinerário das rotas geradas para veículo tipo ônibus Convencional.....	58
Figura 19 – Tabela de roteamento para veículo tipo ônibus Convencional	59
Figura 20 – Visualização das rotas calculadas – 30 paradas e ônibus convencionais.....	60
Figura 21 – Visualização das rotas calculadas – 30 paradas e ônibus <i>Padron</i> (à esquerda) e ônibus Especial (à direita)	61
Figura 22 – Visualização das rotas calculadas – 35 paradas e ônibus Convencional (superior) <i>Padron</i> (inferior esquerda) e ônibus Especial (inferior direita).....	63
Figura 23 – Tabelas de roteamento – 35 paradas	64
Figura 24 – Visualização das rotas calculadas – 40 paradas e ônibus Convencional	65

Figura 25 – Visualização das rotas calculadas – 40 paradas e ônibus <i>Padron</i> (esquerda) e ônibus <i>Especial</i> (direita)	66
Figura 26 – Tabelas de roteamento – 40 paradas	66
Figura 27 – Equidistância entre a empresa e os bairros Santa Mônica e Roosevelt.....	82
Figura 28 – Evolução do saldo do caixa ao longo de dez anos	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados socioeconômicos das 438 cidades que integram o sistema de informações da ANTP	15
Tabela 2 – Evolução das viagens por modo (bilhões de viagens/ano)	16
Tabela 3 – Evolução dos recursos orçamentários reservados e liquidados do Programa de Mobilidade Urbana (em R\$ milhões)	17
Tabela 4 – Principais características dos sistemas BRT, VLT e RRT	26
Tabela 5 – Investimento para implantação de BRT na América do Sul.....	27
Tabela 6 – Quantidade de endereços e funcionários por logradouro	46
Tabela 7 – Distâncias médias e máximas até o ponto de acesso ao serviço	48
Tabela 8 – Agrupamento da demanda em 35 pontos de embarque e desembarque	49
Tabela 9 – Investimento para aquisição de ônibus	52
Tabela 10 – Arquivos de veículos	57
Tabela 11 – Distâncias percorridas e IPK com uso de ônibus convencionais.....	60
Tabela 12 – Distâncias percorridas e IPK com uso de ônibus <i>Padron</i> e Especial	62
Tabela 13 – Distâncias percorridas e IPK na rede com 35 pontos de parada.....	64
Tabela 14 – Distâncias percorridas e IPK na rede com 40 pontos parada.....	67
Tabela 15 – Distâncias das rotas e quilometragem diária	68
Tabela 16 – Preço dos insumos	69
Tabela 17 – Coeficientes para combustível, lubrificantes e pneus	70
Tabela 18 – Custos com combustível e lubrificante.....	70
Tabela 19 – Custo de rodagem	71
Tabela 20 – Custo de peças e acessórios	72
Tabela 21 – Custo variável total, em R\$/km	72
Tabela 22 – Fator de depreciação anual	73
Tabela 23 – Custo fixo com depreciação, em R\$	74
Tabela 24 – Custo fixo de remuneração do capital investido, em R\$/mês.....	74
Tabela 25 – Fator de utilização de motoristas	75
Tabela 26– Percentual de pessoal para cobrir folgas, férias, feriados e faltas	76
Tabela 27 – Custos fixos com pessoal.....	76

Tabela 28 – Despesas administrativas mensais	77
Tabela 29 – Custo fixo total, em R\$/mês	77
Tabela 30 – Custo por passageiro (R\$)	78
Tabela 31 – Turnos de trabalho dos funcionários na empresa	80
Tabela 32 – Turnos dos motoristas.....	81
Tabela 33 – Projeção do IPCA	83
Tabela 33 – Custo anual da rede (operação em 1 turno) e do Vale-Transporte (R\$).....	84
Tabela 34 – Custos da rede semipública em operação com dois turnos.....	86
Tabela 35 – Custo anual da rede (operação em 2 turnos) e do Vale-Transporte (R\$)	86

LISTA DE SIGLAS

- ANTP - Associação Nacional de Transportes Públicos
- ANEOR - Associação Nacional das Empresas de Obras Rodoviárias
- BRT* - *Bus Rapid Transit*
- CLT - Consolidação das Leis do Trabalho
- DPVAT - Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre
- EBTU - Empresa Brasileira de Transportes Urbanos
- GEIPOT - Grupo Executivo da Integração das Políticas de Transporte
- INPC - Índice Nacional de Preços ao Consumidor
- IPCA - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
- IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
- IPI - Imposto sobre Produtos Industrializados
- IPK - Índice de Passageiros por Quilômetro
- PMM - Percurso Médio Mensal
- RRT* - *Rapid Rail Transit*
- SETTRAN - Secretaria de Trânsito e Transportes de Uberlândia
- TCU - Tribunal de Contas da União
- TIR - Taxa Interna de Retorno
- UNESCO* - *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*
- VLT - Veículo Leve sobre Trilhos
- VPL - Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	vi
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE SIGLAS	x
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	13
1.1 O Cenário da Mobilidade Urbana no Brasil	13
1.2 Objetivos.....	18
1.3 Justificativa.....	19
1.4 Metodologia.....	20
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1 Consolidação de Leis Trabalhistas e Vale-Transporte	22
2.2 Tarifação em Transporte Coletivo Urbano	23
2.3 Modos de Transporte Urbano de Passageiros.....	24
2.4 Transporte Semipúblico.....	27
2.5 Medidas de Restrição de Tráfego	30
2.6 Dependência Automotiva e Planejamento Urbano.....	31
2.7 Efeitos do Trânsito no Fator Humano	34
2.8 O Programa Computacional TransCAD	36
CAPÍTULO 3 – DEFINIÇÃO DE CENÁRIO.....	38
3.1 Perfil da Empresa.....	38
3.2 Base de Dados dos Funcionários	39
3.3 Caracterização do Perfil das Viagens	40
CAPÍTULO 4 – SIMULAÇÕES DA REDE SEMIPÚBLICA DE TRANSPORTE	41
4.1 Bases de Dados Georreferenciadas.....	41
4.2 Camada de Demanda	46
4.3 Agrupamento	47
4.4 Veículos Considerados	51
4.5 Programação da Operação	52

4.5.1 Roteirização da Rede com 30 Paradas	55
4.5.2 Roteirização Para Rede com 35 Paradas	62
4.5.3 Roteirização Para Rede com 40 Paradas	65
4.5.4 Consolidação dos Cenários	67
4.6 Tarifação	68
4.6.1 Custo Variável.....	69
4.6.2 Custo Fixo	72
4.6.3 Custo por Passageiro	77
CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA	80
5.1 Premissas	80
5.2 Avaliação da Operação com Turno Único	83
5.3 Avaliação da Operação com Dois Turnos	85
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO	89
6.1 Conclusões.....	89
6.2 Sugestões de Estudos Futuros.....	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo será feita, inicialmente, uma análise da evolução do processo de urbanização, do planejamento urbano e dos impactos nos sistemas de transporte coletivo das grandes cidades. Em seguida será feita uma discussão sobre o aumento da demanda de viagens urbanas, da expansão da frota nacional de veículos automotores e do crescimento dos congestionamentos das vias urbanas, relacionando-os com desperdícios de tempo (atraso das viagens) e queima excessiva de combustíveis fósseis. Na sequência serão abordados temas relacionados ao planejamento da mobilidade urbana e a capacidade do Estado Brasileiro de gerir os grandes projetos dessa área. O capítulo é encerrado com a apresentação dos objetivos do trabalho e suas respectivas justificativas.

1.1 O Cenário da Mobilidade Urbana no Brasil

A evolução do “fenômeno urbano” tem trazido grandes impactos e consequências no cotidiano humano, em especial para as pessoas que habitam as áreas urbanas. A modernização das relações humanas trouxe um aumento da população nas cidades, exigindo cada vez mais recursos ligados ao fornecimento de água, esgoto, transporte público, saúde e habitação. Neste contexto, o planejamento urbano é uma ferramenta que, em tese, visa equacionar os problemas socioambientais das cidades, abordando de forma holística e multidisciplinar, as ações e soluções propostas.

O planejamento urbano não é uma ciência nova, pois já se encontrava presente na administração da civilização do Vale do Indo, por volta do ano 2.600 a.C. (STUHNRENBERG, 2011). Com a consolidação da Revolução Industrial na segunda metade do século XVIII e ao longo do século XIX, juntamente com o grande êxodo rural na Europa, surgiram as primeiras grandes cidades. A concentração de grande quantidade de pessoas em cidades trouxe os primeiros impactos ligados ao saneamento (que mais tarde se tornou uma questão de saúde pública), transporte e habitação.

As primeiras reformas urbanas tiveram justificativas fundamentadas na “saúde das cidades”, e foram abordados os problemas de saneamento, abastecimento de água e habitação. Nestas reformas, os médicos sanitaristas foram efetivamente os direcionadores do planejamento urbano. Numa etapa seguinte, a arquitetura começou a atuar mais fortemente no planejamento urbano. A criação das políticas de uso e ocupação do solo começou a apontar para segregação de finalidades e o surgimento das áreas funcionais específicas dentro das cidades (áreas residenciais, industriais, de comércio, de serviços etc.).

Ao longo dos séculos recentes, a população urbana tem crescido constantemente. Em 1910, 10% dos habitantes da Terra viviam em cidades. Em 2010, este número chegou a 50%, e a projeção é que este índice atinja mais de 80% até 2050, de acordo com a UNESCO (2012). No Brasil, políticas ineficientes de planejamento urbano têm permitido uma expansão excessivamente horizontal dos centros urbanos, assim como a descentralização das moradias. Dessa forma, a periferia das cidades tende a crescer a uma taxa muito mais elevada que seus respectivos municípios-sede, que detêm o maior potencial gerador de empregos, ocasionando as viagens pendulares – deslocamentos entre residências e trabalho (IPEA, 2012). Com isso, a mobilidade urbana é fortemente impactada, dentre outros, nos aspectos relacionados à oferta e à qualidade de transporte público, aos congestionamentos e à qualidade de vida dos cidadãos.

O aumento de demanda por viagens urbanas sobrecarregou a já precária infraestrutura de transportes das cidades dos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento. No Brasil, os órgãos do Estado responsáveis pelo planejamento urbano, em regra, têm um baixo tempo de resposta às variações de demandas e geralmente tomam suas ações baseadas em políticas econômicas ao invés de adotarem um foco no desenvolvimento urbano. As grandes obras de modernização e industrialização estão voltadas ao atingimento de objetivos específicos e, na maioria das vezes, não contemplam as melhorias necessárias na infraestrutura de transporte. Assim, estas grandes obras acabam por contribuir para a degradação dos sistemas de transporte urbano existentes (BANJO; DIMITRIOU, 1983).

No Brasil, tem sido comum o uso de política de incentivo fiscal para alguns ramos da indústria, em especial a automobilística. Com a isenção do Imposto sob Produtos Industrializados (IPI), houve um grande crescimento na frota de veículos automotores. De

acordo com a Associação Nacional de Transportes Públicos – ANTP – de 2003 a 2012, nos 438 municípios que integram o seu sistema de informações (cidades com mais de 60 mil habitantes), a população aumentou de 108 para 125 milhões de habitantes, a renda média mensal do chefe da família cresceu de R\$ 1.034 para R\$ 1.311, embora tenha reduzido de 2003 a 2004 e de 2011 a 2012. No mesmo período, a quantidade de empregos na indústria e no comércio passou de 13 para 16 milhões e a frota nacional de automóveis, de utilitários, de caminhonetes, de caminhonetes, de ônibus, de micro-ônibus e de motocicleta variou de 18 para 35 milhões de veículos. Na Tabela 1 é mostrada a evolução dos dados socioeconômicos das cidades nos anos de 2003 a 2012.

Tabela 1 – Dados socioeconômicos das 438 cidades que integram o sistema de informações da ANTP

Dado	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
População (milhões de habitantes)	108	111	113	115	117	120	121	122	124	125
Emprego (milhões)	13	13	14	14	14	15	15	15	16	16
Renda média mensal do chefe da família (R\$)	1.034	1.025	1.044	1.091	1.128	1.270	1.310	1.359	1.395	1.311
Veículos (milhões)	18	19	20	21	24	26	28	30	33	35

Fonte: ANTP (2014).

Com relação à demanda de transporte público urbano no Brasil, a partir de 1987, houve uma redução na procura por este serviço. A alta inflação no período, assim como o rígido controle tarifário pelo Estado forçavam constantemente os concessionários privados a promoverem adequações em suas operações, o que invariavelmente se traduzia em redução da qualidade do transporte, no intuito de se garantir as margens financeiras dos contratos de exploração de serviços. Por outro lado, as vias urbanas geralmente não eram dotadas de faixas exclusivas para ônibus, os quais tinham de disputar espaço com outros veículos, contribuindo assim para o aumento do tempo das viagens (VASCONCELLOS, 2005).

Em suma, o cenário desfavorável para o transporte coletivo urbano combinado com as facilidades de obtenção de veículos automotores – incentivados pelo Estado, por meio de isenções de IPI entre 2012 e 2014 – fez com que houvesse um aumento de 37% nas viagens efetuadas por transporte individual (automóveis e motocicletas) entre 2003 e 2012, enquanto no transporte coletivo o aumento na quantidade de viagens foi de 23% no mesmo

período (ANTP, 2014). Na Tabela 2 são mostradas as quantidades de viagens realizadas no Brasil, no período de 2003 a 2012, distribuídas pelas diversas modalidades de transporte.

Tabela 2 – Evolução das viagens por modo (bilhões de viagens/ano)

Modalidade de transporte	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Ônibus municipal	11,0	11,0	11,3	11,5	11,0	12,1	12,2	12,3	12,5	12,7
Ônibus intermunicipal	2,4	2,3	2,4	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	2,9	2,0
Trilhos	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8	2,0	2,1	2,2	2,4	2,4
Total – transportes coletivos	14,8	14,8	15,2	15,6	16,2	16,8	17,0	17,3	17,7	18,2
Automóvel	13,3	13,6	14,2	14,6	15,0	15,4	15,6	16,1	16,8	17,1
Motocicleta	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3
Total – transportes individuais	14,2	14,7	15,3	15,8	16,4	17,0	17,3	18,1	18,8	19,4
Bicicleta	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2
A pé	19,3	19,6	20,3	20,6	21,1	21,6	21,7	22,2	22,6	22,8
Total – transportes não motorizados	20,5	21,0	21,7	22,1	22,6	23,2	23,5	24,1	24,7	25,1
Total de viagens	49,5	50,4	52,1	53,5	55,2	57,0	57,9	59,5	61,3	62,7

Fonte: ANTP (2014).

Com a intenção de tratar especialmente os problemas do sistema de transporte, o Ministério das Cidades criou, em 2004, o Programa de Mobilidade Urbana, cujo objetivo foi favorecer os deslocamentos não motorizados e o transporte coletivo, o que, em tese, contribui para a redução dos congestionamentos das vias urbanas. As diretrizes gerais do programa apoiam técnica e financeiramente os projetos de corredores estruturais de ônibus urbanos, os projetos de circulação não motorizada, os projetos de acessibilidade para pessoas com deficiência e mobilidade reduzida, e os projetos de integração de diversos modos de transporte coletivo urbano.

Adicionalmente, o Ministério das Cidades estabeleceu critérios para seleção de projetos de mobilidade urbana, priorizando as propostas que transportam um maior número de passageiros por dia, que promovam o aumento da velocidade média dos veículos de transporte coletivo urbano, que permitam acessibilidade, segurança e conforto para os usuários, que incrementem a regularidade do serviço de transporte, que estimulem a racionalização e otimização de recursos – combustível, tarifas, mobilidade – e que viabilizem a integração com os demais modos de transporte (BRASIL, 2007a).

Observa-se, do ponto de vista de planejamento, que o Ministério das Cidades, por meio da edição do Caderno de Referência para Elaboração do Plano de Mobilidade Urbana e do Manual do Programa 9989 de Mobilidade Urbana (BRASIL, 2007b), está em sintonia com as principais questões do deslocamento urbano e aponta diretrizes coerentes para o enfrentamento da situação.

Se pelo lado do planejamento o Estado brasileiro possui diretrizes claras para o equacionamento dos problemas de mobilidade urbana, quando se trata de execução e controle, a performance dos projetos aprovados é extremamente baixa. De acordo com o IPEA (2009) e BRASIL (2009, 2010, 2011 e 2012a), no período de 2004 a 2011, o governo consistentemente não conseguiu realizar seus orçamentos no Programa de Mobilidade, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Evolução dos recursos orçamentários reservados e liquidados do Programa de Mobilidade Urbana (em R\$ milhões)

Recursos	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Recursos reservados	131,4	388,4	202,9	680,7	459,8	263,1	358,3	5.027,3
Recursos liquidados	104,8	141,3	162,7	496,5	116,6	0,6	0,6	1.238,2
Percentual de recursos liquidados(%)	79,8	36,4	80,2	72,9	25,4	0,23	0,16	24,6

Fonte: IPEA(2009), BRASIL (2009, 2010, 2011, 2012a).

No relatório de avaliação do plano plurianual 2008-2011, o Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão aponta que a grande maioria dos projetos que formam o Programa 9989 apresentou desempenho muito abaixo daquele almejado (BRASIL, 2012b). As explicações para tamanho desvio abordam um variado leque de fatores, tais como condições inadequadas de infraestrutura para equipe gerencial, quantidade insuficiente de quadro de pessoal, escassez de recursos devido ao contingenciamento orçamentário e processos excessivamente burocráticos para liberação de recursos. Em suma, os recursos reservados, embora representem historicamente uma tendência de crescimento, são considerados insuficientes diante da complexidade do quadro da mobilidade urbana no Brasil. Além disso, mesmo com capital disponível, o Governo não consegue executar de forma satisfatória os seus projetos aprovados.

Em outra perspectiva, o aumento da frota nacional de veículos refletiu diretamente na quantidade de acidentes de trânsito com vítimas fatais e casos de invalidez. De acordo com

o Sistema de Informações de Mortalidade, em acidentes terrestres, a quantidade de óbitos passou de 32,7 mil para 40,6 mil entre 2002 e 2010 (BRASIL, 2011). Em 2011 o cenário não foi melhor. A empresa administradora do seguro obrigatório DPVAT publicou que o número de indenizações aumentou 42% no período de janeiro a setembro de 2011, em comparação com o ano anterior, somando mais de R\$ 1,6 bilhão de reais (SEGURADORA LÍDER, 2013).

Diante dessa realidade constata-se que os problemas de mobilidade urbana no Brasil causam perdas econômicas para a nação por meio do aumento do tempo perdido nas viagens, do consumo excessivo de combustíveis fósseis e pela emissão de gases poluentes na atmosfera (EUSÉBIO, 2009). Um estudo conduzido pelo Instituto de Pesquisa e Economia Aplicada (IPEA) conjuntamente com a ANTP, no ano de 2013, avaliou que os congestionamentos em São Paulo têm gerado crescentes prejuízos. As despesas com consumo excedente de combustível em 2002 foi de R\$ 7 bilhões e em 2012 este valor aumentou para R\$ 10 bilhões. Com relação ao prejuízo com o tempo perdido – improductividade – em 2002 o montante estimado foi de R\$ 10,3 bilhões, chegando em 2012 em R\$ 30,2 bilhões. Estes valores exercem uma significativa pressão no “custo Brasil” (CINTRA, 2013) e afetam a competitividade das empresas.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é estudar a viabilidade técnica, econômica e financeira de se implantar uma rede semipública de transporte coletivo para atendimento exclusivo da demanda de deslocamentos dos funcionários de uma empresa privada situada na cidade de Uberlândia, MG, das suas residências até o local de trabalho e vice-versa. Este objetivo geral se desdobra nos seguintes objetivos específicos:

- Delimitar a área geográfica de estudo, selecionando um bairro residencial da cidade de Uberlândia, MG;
- Representar as residências dos funcionários em um sistema informatizado georreferenciado;

- Realizar modelagens e simulações relacionadas a roteirização dentro da área geográfica selecionada;
- Avaliar, em função da matriz origem-destino, os veículos mais indicados para o transporte coletivo urbano;
- Planejar a operação da rede de transporte coletivo;
- Determinar os custos e despesas relacionadas à operação da rede de transporte;
- Comparar os custos operacionais da rede de transporte com os valores incorridos para aquisição do Vale-Transporte;
- Concluir sobre as viabilidades técnica, econômica e financeira de implantação e operação da rede semipública de transporte coletivo;
- Apontar itens para estudos futuros.

1.3 Justificativa

Nota-se, com frequência, que as viagens providas pelo atual sistema de transporte coletivo urbano da cidade de Uberlândia, MG são relativamente lentas, devido ao fato de uma grande quantidade de ônibus passar pelo terminal central da cidade. Com relação à qualidade do serviço público percebida pelo usuário, na maioria das linhas os ônibus apresentam superlotação, sendo grande a quantidade de passageiros transportados em pé, sobretudo durante os horários de pico.

Apesar de o Estado ser responsável pelo provimento da mobilidade urbana em níveis adequados para o desenvolvimento socioeconômico das cidades, é evidente a reduzida capacidade do Governo para executar os projetos de melhoria nas redes de transporte público. Como consequência, os centros urbanos experimentam vias cada vez mais congestionadas, degradando a qualidade do transporte coletivo urbano, causando grandes prejuízos, aumentando o número de acidentes e poluição ambiental, e reduzindo a produtividade da economia.

Diante do baixo tempo de resposta do Governo às questões relacionadas à mobilidade urbana, a atuação de empresas privadas em redes semipúblicas de transportes coletivo pode

ser uma alternativa viável para a oferta de um serviço de qualidade aos seus funcionários, trazendo benefícios no curto ou médio prazo.

Este trabalho é constituído de seis capítulos, organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 1 - INTRODUÇÃO: apresenta um cenário geral dos principais problemas relacionados à mobilidade urbana e ao transporte coletivo urbano;
- Capítulo 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: descreve os referenciais teóricos utilizados no desenvolvimento do trabalho;
- Capítulo 3 - DEFINIÇÃO DE CENÁRIO: faz a delimitação do escopo do estudo;
- Capítulo 4 - SIMULAÇÕES DA REDE SEMIPÚBLICA: realiza os diversos estudos técnicos pertinentes a essa pesquisa de planejamento e operação da rede de transportes;
- Capítulo 5 - ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA: desenvolve os estudos financeiros relativos à implantação e operação da rede semipública, e compara tais custos com os valores incorridos na aquisição do Vale-Transporte;
- Capítulo 6 - CONCLUSÕES: encerra o trabalho, apresenta as conclusões e sugere temas para estudos futuros.

1.4 Metodologia

Para execução deste projeto foi, inicialmente, obtida e configurada uma base de dados cadastrais dos funcionários da empresa residentes no Bairro Santa Mônica. Numa etapa seguinte foi obtido um mapa digital da cidade de Uberlândia-MG, o qual foi importado e georreferenciado no *software* TransCAD. Com o uso do *software* TransCAD foram desenvolvidos todos os processos de modelagem e simulações de agrupamento de demanda, seleção de veículos, roteirização e programação da operação da rede de transporte.

Com as informações provenientes das simulações e modelagens feitas no *software* TransCAD, foram desenvolvidas os cálculos tarifários, tendo como base a metodologia do

Grupo Executivo de Implantação de Políticas de Transporte – GEIPOT, e da Empresa Brasileira de Transportes Urbanos – EBTU.

Com base nos valores de custos operacionais apontados pelo cálculo tarifário, foi feita uma análise de viabilidade econômico-financeira, comparando tais custos com aqueles atualmente incorridos para aquisição de Vale Transporte. Ao final desta etapa foi possível concluir que valores recolhidos ao pagamento de Vale-Transporte podem ser suficientes para cobrir a operação da rede semipública de transporte coletivo para os funcionários.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados os referenciais teóricos utilizados na elaboração deste trabalho, abordando temas relacionados aos aspectos legais, ao transporte coletivo urbano, ao planejamento urbano, e aos impactos da qualidade do trânsito no comportamento humano. Também serão mostradas informações do programa computacional usado no desenvolvimento deste estudo.

2.1 Consolidação de Leis Trabalhistas e Vale-Transporte

A Constituição Federal de 1988 aborda, no artigo sétimo, os direitos dos trabalhadores urbanos e rurais. Apesar de dentre os 39 incisos deste artigo não haver diretamente nenhuma referência ao direito do trabalhador ao Vale-Transporte há, na redação do *caput*, a possibilidade de inclusão, por meio de lei específica, de outros direitos que visem à melhoria das condições sociais dos trabalhadores (BRASIL, 1988). De acordo com a Consolidação das Leis Trabalhistas (CLT), o salário mínimo deve ser capaz e suficiente para cobrir as necessidades normais de alimentação, habitação, vestuário, higiene e transporte de um trabalhador, sendo de responsabilidade do empregador tal contraprestação a todo empregado (BRASIL, 1943).

Em 1985, o Vale-Transporte foi instituído pela Lei 7.418, sendo um instrumento jurídico que obriga os empregadores a antecipar aos empregados valores que serão utilizados para cobrir as despesas de deslocamentos de suas residências para o trabalho e vice-versa. Em seu artigo primeiro, este dispositivo legal cita que o deslocamento poderá ser feito com o uso do serviço de transporte coletivo público urbano, intermunicipal ou interestadual, facultada a sua gestão direta ou mediante concessão/permisão de rotas regulares (BRASIL, 1985). Também, em seu artigo quarto, é citado que o Vale-Transporte terá seu custo suportado em parte pelo trabalhador, na parcela de 6% de seu salário básico, sendo a empresa empregadora responsável pelo pagamento do custo restante.

Em 1987 foi publicado o Decreto 95.247 com o objetivo de regulamentar a Lei 7.418/85, que instituiu o Vale-Transporte. O decreto exibe, em um maior nível de detalhes, a descrição dos beneficiários (empregados diretos, indiretos, domésticos, temporários, subempreiteiros, atletas e servidores públicos) e dos deslocamentos, incluindo a possibilidade de uso de múltiplos meios de transportes coletivos nas viagens para o trabalho e retorno à residência. O artigo quarto do Decreto 95.247/87 desonera o empregador da obrigatoriedade do Vale-Transporte, caso ele possa proporcionar, por meios próprios ou contratados, o transporte de seus funcionários em veículos adequados.

2.2 Tarifação em Transporte Coletivo Urbano

O provimento do transporte público aos cidadãos brasileiros é um dever do Estado, conforme previsto no artigo 30, inciso V da Constituição Federal, cabendo aos municípios a prestação, direta ou via concessão/permisão, dos serviços de transportes públicos de interesse local (BRASIL, 1988). Em Uberlândia, MG, a lei orgânica municipal prevê como incumbência do município, no Capítulo III, o planejamento, a execução e o controle dos serviços de transportes públicos (UBERLÂNDIA, 2010). Dentro do cenário de transporte público, as políticas de tarifação se mostram um fator essencial para atingir objetivos naturalmente antagônicos, como qualidade dos serviços de transporte público coletivo, equilíbrio econômico-financeiro dos contratos de concessão/permisão e a função social dos serviços de transporte. Desta forma, é importante a utilização de uma metodologia sólida, porém flexível, para a determinação e controle das tarifas praticadas para o transporte coletivo urbano.

Em 1982, o Grupo Executivo de Integração da Política de Transporte (GEIPOT) e a Empresa Brasileira de Transportes Urbanos (EBTU) publicaram um manual de práticas para cálculo de tarifas de ônibus urbanos, com o objetivo de fornecer às prefeituras municipais uma metodologia útil e simples para a quantificação de suas tarifas. Este documento foi revisado em 1996 e continua sendo a principal referência dos municípios para calcular o valor das passagens de ônibus urbano. Na metodologia, a especificação é composta por custos fixos (custo de capital, despesas administrativas e com pessoal),

custos variáveis (combustíveis, lubrificantes, rodagem, peças e acessórios) e impostos (BRASIL, 1996).

No processo de tarifação é necessário, como insumo básico, o prévio conhecimento dos preços de diversos itens, tais como combustível, pneus, protetores para pneus, recapagens, câmaras de ar, aquisição de veículos novos, salários (motoristas, cobradores, mecânicos, despachantes), remuneração de diretoria, seguros (obrigatório e de responsabilidade civil) e impostos. O valor da tarifa a ser praticada é determinado com base na demanda estimada de passageiros (pagantes, pagantes com descontos e isentos), na composição da frota e na quilometragem percorrida, e levando-se em conta também remunerações de capital, formas de depreciação e custos de manutenção. Com o uso desta metodologia, também podem ser calculados alguns indicadores operacionais, como o percurso médio mensal (PMM), que é a quilometragem total percorrida durante um mês dividida pela frota em operação, e o índice de passageiros por quilômetro (IPK), que é a quantidade de passageiros equivalentes transportados durante o mês dividida pela quilometragem total percorrida.

A Prefeitura Municipal de Uberlândia usa a metodologia do GEIPOT para calcular tanto a tarifa de ônibus coletivo urbano, quanto o seu índice de reajuste ao longo do período de concessão do serviço. O índice de reajuste é apurado utilizando-se, ponderadamente, as variações anuais do Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC), do preço de óleo diesel/lubrificantes e do índice por atacado/oferta global/produtos industriais/material de transporte/veículos a motor. O INPC colabora com peso de 50 % no índice de reajuste da tarifa, enquanto que a variação do preço do óleo diesel/lubrificantes e dos veículos contribui com 25 % cada (BORGES, 2013).

2.3 Modos de Transporte Urbano de Passageiros

Os modos de transporte de passageiros em áreas urbanas podem ser categorizados como privado (individual), público ou semipúblico. No transporte privado, a principal característica é a condução do veículo por um dos usuários, com liberdade de escolha de rotas e horários de partida. Os principais exemplos do transporte privado são as bicicletas,

as motocicletas e os carros de passeio. O transporte público é definido pela oferta de vagas (assentos) em veículos de empresas que operam em rotas e horários preestabelecidos. Os veículos possuem grande capacidade e são compartilhados por passageiros, tendo como principais exemplos os ônibus, metrôs e trens suburbanos. No transporte semipúblico há uma mistura das características dos dois sistemas mencionados anteriormente. Os principais meios de transporte semipúblico são os táxis, ônibus fretados, *vans*, carros locados, mototáxis e lotações (FERRAZ;TORRES, 2004).

Com crescimento das cidades surge também o aumento na demanda por transporte de passageiros que, devido às restrições de infraestrutura urbana, exigiu dos planejadores a busca de soluções viáveis que aumentassem a eficiência do transporte urbano coletivo. Um serviço de larga escala deve possuir grande velocidade operacional, alta capacidade de transporte de passageiros, e preferências no trânsito (semáforos atuados e vias exclusivas). Na tecnologia de veículos sobre pneus, podem ser usados ônibus comuns ou articulados, que circulam nas vias públicas de forma segregada ou concorrente com o tráfego dos demais veículos. Na modalidade de veículos sobre trilhos, os trens se deslocam sobre rotas fixas e exclusivas, com elevada velocidade operacional e grande oferta de assentos (DENG; NELSON, 2011).

O BRT (*Bus Rapid Transit*) é uma forma de transporte sobre pneus, que usa ônibus articulados com grande capacidade de passageiros. Para se garantir maior eficiência operacional deste sistema, pode-se implantar a segregação do tráfego do BRT, designando faixas/vias exclusivas para o transporte coletivo. Também, visando à redução do tempo perdido pelos ônibus nos cruzamentos, podem ser ativados semáforos atuados, cujo funcionamento altera os tempos de verde de tal forma privilegiar o BRT. A velocidade operacional média dos BRT varia de 20 a 40 km/h, e sua principal vantagem é o baixo custo e menor tempo de implantação, se comparado com as soluções de veículos sobre trilhos (VUCHIC, 2007).

O VLT (Veículo Leve sobre Trilhos) é um sistema de transporte que utiliza veículos modernos sobre trilhos, agrupados em comboios de até quatro unidades, e que trafegam em vias exclusivas. O VLT é caracterizado pela bilhetagem fora do veículo, com objetivo de reduzir os tempos de embarque e desembarque. No caso de haver cruzamentos entre os

trilhos do VLT e as demais vias urbanas, pode-se adotar, a exemplo do BRT, o uso de semáforos atuados. A velocidade operacional do VLT oscila no intervalo de 20 a 45 km/h e sua capacidade é de 6.000 a 8.000 passageiros por hora e por sentido, em veículos com até 250 passageiros. Os custos de implantação variam de US\$ 10 milhões a US\$ 50 milhões por quilômetro de via com duas faixas (VUCHIC, 2007).

Para o transporte de altos volumes de passageiros a distâncias relativamente longas, em ambientes suburbanos e/ou metropolitanos, a tecnologia RRT (*RailRapid Transit*) pode ser a mais indicada para garantir elevados índices de desempenho operacional e qualidade. O RRT usa locomotivas e vagões com capacidade de até 280 passageiros, podendo transportar entre 10.000 e 70.000 passageiros por hora, por sentido. É um sistema extremamente confiável que trafega com velocidade operacional de até 55 km/h. A grande eficiência do RRT está estruturada no escalonamento de maiores distâncias entre as estações, ao uso de vias exclusivas para os trens e ao alto grau de automação dos processos de bilhetagem e controle de tráfego. Os metrôs são os principais exemplos de RRT, cuja implantação requer investimentos estimados entre US\$ 40 milhões e US\$ 100 milhões para cada quilômetro de par de vias (VUCHIC, 2007). Na Tabela 4 são mostradas as principais características dos sistemas BRT, VLT e RRT.

Tabela 4 – Principais características dos sistemas BRT, VLT e RRT

Parâmetro	BRT	VLT	RRT
Capacidade do veículo (passageiros/veículo)	40 – 150	110 – 150	140 – 280
Velocidade operacional (km/h)	15 – 40	15 – 40	24 – 55
Capacidade da linha (passageiros/h)	4.000 – 8.000	6.000 – 20.000	10.000 – 70.000
Distância entre estações (m)	500 – 800	500 – 1.000	500 – 2.000
Investimento para 1 par de vias (milhões de US\$/km)	5 – 40	10 – 50	40 – 100

Fonte: Adaptado de Vuchic (2007).

Na América do Sul, a expansão do BRT foi impulsionada a partir da década de 1970, com o sucesso do projeto executado na cidade brasileira de Curitiba. Os custos médios para implantação dos BRT nas cidades sul-americanas de Curitiba (Brasil), Quito (Equador), Guayaquil (Equador), Bogotá (Colômbia) e Lima (Peru) foram da ordem de US\$ 6 milhões por quilômetro de corredor, chegando ser até 17 vezes menores que o investimento equivalente para ativação de metrô. Além dos valores de investimento inicial, o BRT tem como vantagens o menor custo operacional, a imunidade à variação do congestionamento

de veículos nas demais vias, a possibilidade de ultrapassagens em estações (aumento na velocidade operacional) e a flexibilidade para alteração de rotas, em caso de necessidade (MENCKHOFF, 2005). Na Tabela 5 são mostrados dados de custo de implantação de BRT em diversas cidades da América Latina.

Tabela 5 – Investimento para implantação de BRT na América do Sul

Cidade	Extensão de corredores (km)	Investimento (US\$ milhões/km)
Curitiba	65	1,4
Quito	17	5,1
Bogotá	85	11,9
Guayaquil	45	3,6
Lima	32	5,5
Pereira	17	2,7

Fonte: Adaptado de Menckhoff(2005).

Ao analisar Tabela 5 nota-se que o custo de implantação do BRT em Bogotá foi superior à média de outras cidades da América do Sul (US\$ 11,9 milhões em Bogotá quando comparado com a média de US\$ 3,7 milhões nas outras cidades). Isso se deve ao fato de o BRT de Bogotá servir a uma área com densidade populacional muito maior que a média das outras cidades sul-americanas, fazendo que a rede seja operada por uma maior quantidade de veículos, estações e faixas exclusivas, e consequentemente, maiores investimentos.

Apesar da comparação inevitável entre as modalidades BRT, VLT e RRT é necessário compreender que a escolha da melhor alternativa dar-se-á em função das características do caso concreto em estudo, a depender, dentre outras, da estimativa de demanda (atual e futura), disponibilidade de recursos financeiros, das políticas de uso e ocupação do solo, e da necessidade e possibilidade de integração com outras modalidades de transporte.

2.4 Transporte Semipúblico

Existe uma modalidade de transporte de passageiros que reúne características intermediárias entre os transportes privado e público convencional. Denominado de semipúblico, este tipo de serviço tem por objetivo prover o deslocamento de passageiros em áreas urbanas e/ou suburbanas, utilizando-se das vias públicas e de veículos

convencionais ou adaptados. Historicamente, esta modalidade de serviço surgiu para atender demandas em áreas de baixa densidade, onde o sistema de transporte tradicional não era economicamente viável. O serviço, que pode ser operado tanto por entidades públicas quanto por empresas privadas, tem suas rotas e programações horárias previamente definidas em função de necessidades específicas de seus usuários. Na maioria das vezes, os usuários de transporte semipúblico pertencem a uma organização e têm interesses comuns em seus deslocamentos, podendo ser integrantes de empresas, indústrias, escolas, dentre outros, mas não sendo caracterizados como público geral. Os principais exemplos de transporte semipúblico são os táxis, mototáxis, *vans*, ônibus fretados e carros alugados (VUCHIC, 2007).

Os táxis são a forma mais antiga e o principal tipo de transporte semipúblico. Eles requerem menores demandas de passageiros que as modalidades de transporte público convencional, e seus veículos apresentam características específicas, como cores da lataria e sinalizações luminosas (portas e teto). Os usuários podem ter acesso a este serviço das seguintes formas: em pontos/paradas de táxi (em locais próximos a polos geradores de viagens, como por exemplo, aeroportos, terminais rodoviários, estádios, hotéis, etc.); por meio de centrais de rádio táxi (viagens solicitadas por telefone ou mensagens de texto de aparelhos celulares, sendo encaminhado para o atendimento o veículo disponível que esteja mais próximo ao ponto de embarque); e diretamente nas vias públicas (os veículos livres normalmente possuem sinalização indicativa de disponibilidade). Os táxis se caracterizam por ser um transporte individualizado, no qual o usuário é quem determinada quando e onde a viagem será realizada. Sua principal vantagem é a flexibilidade de locais e horários de acesso ao serviço, e sua maior desvantagem é o custo relativamente alto. Este meio de transporte é regulamentado pelo Estado, que define as quantidades de táxi, tarifas, áreas de cobertura, planos de treinamento dos motoristas e padrões de segurança dos veículos.

Na década de 1970, alguns empresários forneciam *vans* para cada grupo de 7 a 15 empregados, com o objetivo de prover serviços de deslocamento da residência para o trabalho (e vice-versa) para seus funcionários. Neste serviço, um dos integrantes do grupo assumia a condição de motorista e tinha a responsabilidade de dirigir e manter o veículo. As despesas de operação, estacionamento, manutenção e depreciação da *van* eram rateadas com os integrantes do grupo. Os principais benefícios deste serviço foram: a redução da

área necessária para estacionamento nas empresas; a possibilidade de o motorista utilizar livremente o veículo fora dos horários de trabalho; e a desobrigação dos demais integrantes com a operação e manutenção do veículo.

Outro tipo de veículo utilizado no transporte semipúblico é o ônibus fretado. Algumas empresas, escolas e até mesmo residentes de determinada área geográfica usam ônibus para viagens regulares de grupos de pessoas, normalmente entre áreas residenciais e locais de alta concentração de frentes de trabalho. Nesta modalidade, o veículo pode ser contratado de um operador de ônibus ou até mesmo ser fornecido por uma empresa empregadora. As principais vantagens deste tipo de serviço são a possibilidade de utilização do ônibus para múltiplas viagens ao longo do dia e a baixa necessidade de organização dos seus participantes no processo operacional do transporte, uma vez que o serviço será provido pela própria empresa ou por uma operadora de ônibus. No entanto, os ônibus fretados requerem uma quantidade relativamente alta de passageiros para que haja a viabilização da operação.

Uma forma de transporte semipúblico que tem evoluído nas grandes cidades é o compartilhamento de carros. Os veículos são providos por locadoras, que praticam tarifas por hora ou distâncias percorridas. As locadoras dispõem de depósitos de veículos estrategicamente distribuídos ao longo das cidades, normalmente onde há uma maior concentração de demandas por viagens e com possibilidades de integrações modais (estações de metrô, trens, ônibus, etc.). O motorista pode fazer a reserva de um veículo por telefone ou pela *internet*, recebendo credenciais para registro e autenticação no sistema de bordo do veículo no ato da retirada. As viagens podem ser tanto de ida quanto de ida e volta, sendo os veículos sempre retirados e devolvidos nos depósitos das empresas. Este tipo de transporte tem contribuído para reduzir a quantidade de veículos particulares em circulação nos grandes centros urbanos, diminuindo os congestionamentos, a necessidade de áreas para estacionamento e a emissão de gases poluentes na atmosfera.

O transporte semipúblico pode ser extremamente benéfico se for devidamente coordenado com as demais modalidades de transporte público. Tendo em vista as integrações modais e o atendimento a demandas específicas, o transporte semipúblico se apresenta como alternativa potencialmente viável para aumentar o nível de serviço das redes de transporte.

2.5 Medidas de Restrição de Tráfego

De uma forma geral, o nível de mobilidade e acessibilidade urbana tem se reduzido nos países em desenvolvimento. Os principais fatores relacionados à queda da mobilidade são o ritmo constante de crescimento da motorização (em especial automóveis e motos) e o esgotamento e/ou incompatibilidade das facilidades urbanas para escoamento de tráfego, que causam aumento no congestionamento, na quantidade de acidentes, na poluição e queda na qualidade de vida dos cidadãos. Para lidar com estes problemas, existem três estratégias definidas. A primeira tratada oferta de facilidades do sistema viário, por meio da ampliação da capacidade e construção de novas vias. A segunda estratégia é composta pelas técnicas de engenharia de tráfego, com foco na melhoria da qualidade da mobilidade urbana. A terceira estratégia contempla a gestão da demanda, indicada em casos de excesso de veículos na via, objetivando reduzir a quantidade de viagens e restringindo o tráfego de veículos (CRUZ, 2006; GAKENHEIMER, 1999).

Uma das formas de gestão de demanda é a introdução de custos financeiros adicionais para o uso de veículos em vias urbanas. A influência direta do Estado na determinação de taxas adicionais para aquisição de novos veículos em determinadas cidades é um meio de inibir o crescimento da motorização e incentivar o uso de transportes coletivos. Nota-se claramente que nos dias atuais, a política econômica do Brasil está em direção oposta a esta filosofia. Outra forma de se reduzir a demanda de viagens é a tarifação pelo uso de veículos em determinados locais e horários. Neste sentido, podem ser utilizados: pedágios urbanos; restrição de circulação de veículos em certas áreas; controle de zonas e custo de vagas em áreas de estacionamento; e mudanças em alíquotas de impostos de combustíveis (WOOTTON, 1999).

Verifica-se, entretanto, que a implantação da maioria das medidas de controle de demanda não conta com uma aceitação efetiva por parte dos usuários de veículos. As pessoas se mostram resistentes a estas restrições, pois há claramente uma privação do uso do automóvel, que é tido como um indicador de *status* social. De forma geral, as pessoas entendem que o controle de demanda traz benefícios para a cidade, mas estão pouco dispostas a promover mudanças em suas rotinas e níveis de conforto em prol do benefício coletivo (VIOLATO; SANCHES, 2001). Este cenário torna impopulares as medidas de

gestão de demanda, o que explica parcialmente o seu baixo nível de implantação nas cidades brasileiras, onde as decisões são tomadas, em regra, considerando-se primordialmente os fatores políticos e não critérios técnicos.

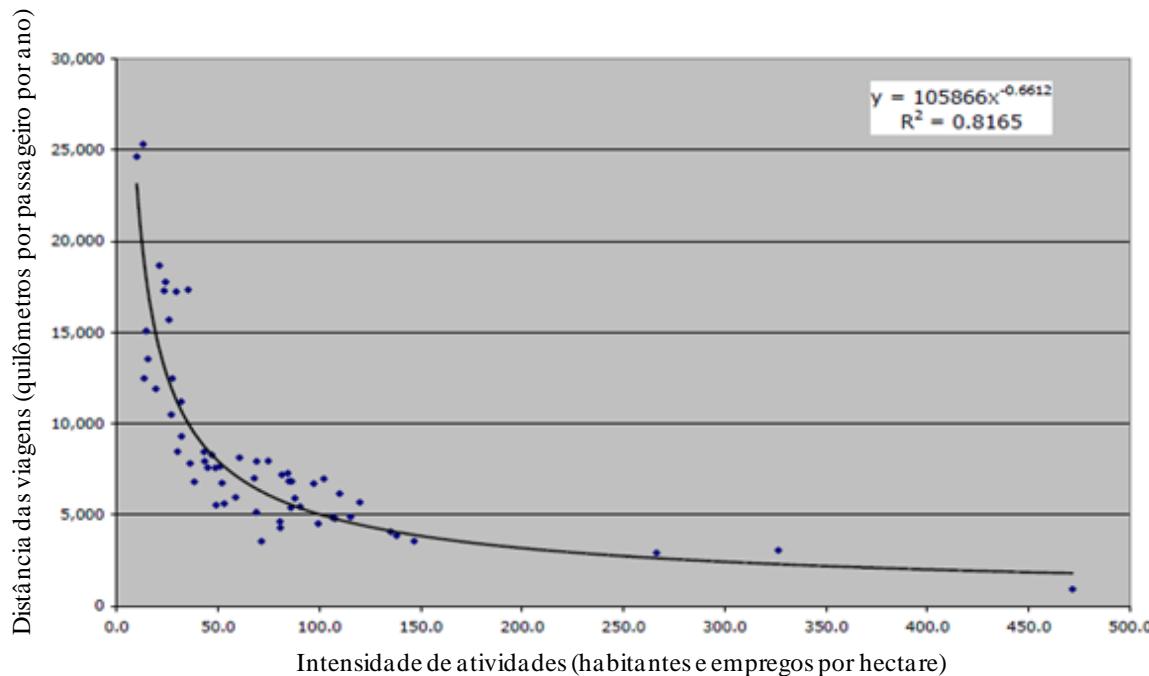
2.6 Dependência Automotiva e Planejamento Urbano

A dependência automotiva é definida como sendo a situação na qual uma determinada sociedade apresenta altos níveis per capita de viagens de carros, políticas de uso e ocupação do solo orientadas a carros, e reduzidos modos alternativos de transporte. A dependência automotiva causa impactos no desenvolvimento econômico regional nos aspectos relacionados à produtividade, à competitividade e ao emprego. Este conceito se opõe ao sistema balanceado de transporte, que busca equilibrar, de forma racional e viável, os diversos modos de transportes disponíveis (LITMAN; LAUBE, 2002).

Planejamento urbano e dependência automotiva são temas que guardam relação entre si. Na medida em que as cidades crescem de forma desordenada e espalhada há a necessidade de viagens cada vez mais longas. Este cenário, se desacompanhado de um sistema de transporte público eficiente e de qualidade, poderá contribuir para o aumento da quantidade de veículos particulares em circulação e consequentemente, fortalecerá a dependência automotiva.

A dependência automotiva está diretamente correlacionada com a intensidade de atividades em áreas urbanas. Por intensidade de atividades em áreas urbanas entende-se como a soma de habitantes e postos de empregos por unidade de área. Estudos realizados em 58 metrópoles de alta renda per capita, demonstraram a relação matemática existente entre a distância percorrida, utilizando transporte particular, e a intensidade de atividades, conforme ilustrado na Figura 1. Em áreas com menores intensidades de atividades, os habitantes realizam viagens mais longas, o que reflete diretamente no consumo de combustíveis.

Figura 1 –Intensidade de atividades e a distância percorrida utilizando-se transporte particular



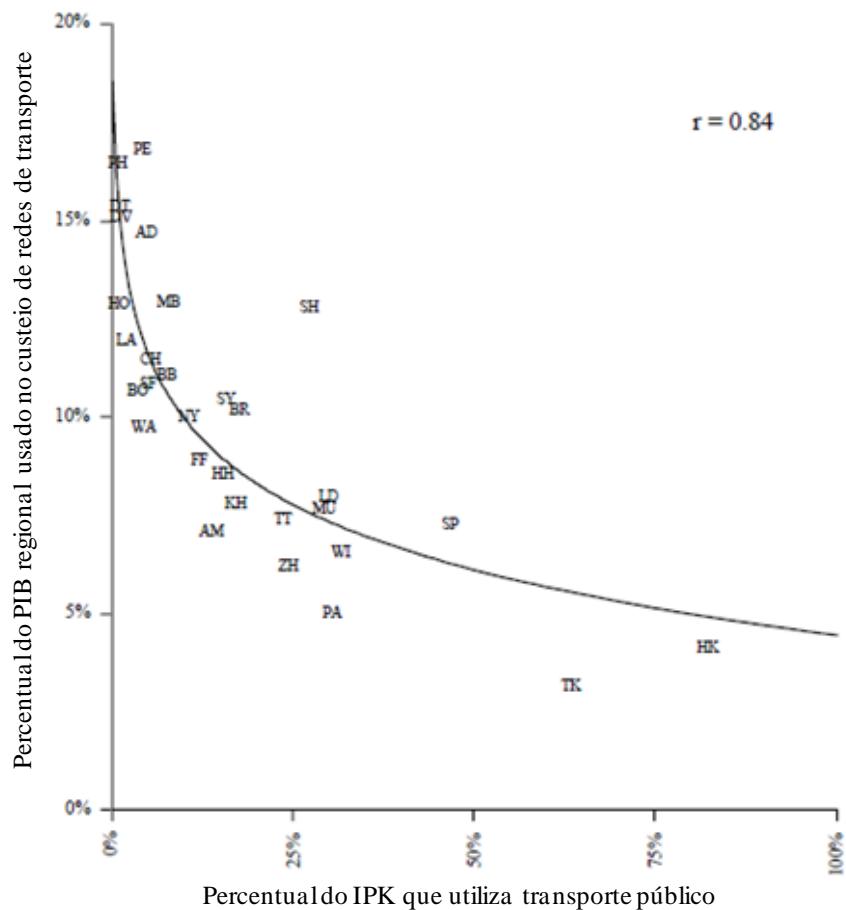
Fonte: Adaptado de Newman; Kenworthy(2006).

O urbanismo moderno deve levar em consideração a necessidade de redução da dependência automotiva, por meio da definição de áreas com densidade suficientemente alta para criação de centros locais de serviços e de trabalho. A qualidade de vida nos centros urbanos, a viabilidade de transporte público, o acesso ao trabalho, os níveis de obesidade e estresse da população estão sendo estudados conjuntamente com o fenômeno da dependência de carros. O espalhamento urbano é uma realidade na grande maioria das cidades, sendo, portanto, uma preocupação que deve ser tratada pelos governos.

Como principais impactos no desenvolvimento econômico, a dependência automotiva traz: aumento da mobilidade e da conveniência para os motoristas; aumento nas despesas com manutenção dos veículos e combustíveis; aumento nas despesas com infraestrutura de estradas (manutenções e ampliações) e estacionamentos; aumento no congestionamento, danos com acidentes e impactos ambientais; e redução da percepção, por parte dos usuários de automóveis, da quantidade de modos alternativos de transporte. As influências na economia podem ser tanto positivas quanto negativas, dependendo da intensidade de ocorrência destes impactos (LITMAN; LAUBE, 2002).

Considerando-se especificamente a operação de todos os modos de transporte, Litman e Laube (2002) concluíram que quanto maior for a participação do transporte público nas viagens dos cidadãos, menor é o percentual do produto interno bruto (PIB) regional que deve ser destinado aos custos dos sistemas de transportes. Na Figura 2 é mostrada a relação entre o índice de passageiros-quilômetros (IPK) no transporte público e o percentual do PIB utilizado na operação de transportes da região. O estudo foi realizado em cidades da Austrália, Estados Unidos, Europa, Ásia e Canadá.

Figura 2 –Percentual do produto interno bruto regional utilizado no custeio do sistema de transporte, em função do uso da rede pública



Fonte: Adaptado de Litman; Laube(2002).

Para se reduzir a dependência automotiva, uma estratégia indicada é justamente o aumento das opções de transporte e a implantação das redes viáveis de transporte público, incluindo o provimento de ciclovias. A qualidade do serviço de transporte público é

fundamental para que seja viável a substituição do transporte privado, e um catalisador para um eficiente uso do solo.

2.7 Efeitos do Trânsito no Fator Humano

Nas grandes cidades mundiais, o hábito de dirigir tem trazido aos motoristas alguns efeitos negativos em seus comportamentos, dentre eles: o estresse, a falta de paciência e a redução do tempo e desempenho gasto com trabalho. Gyimesi, Vincent e Lamba (2011) realizaram pesquisa com 8.000 motoristas de 20 metrópoles de todos os continentes, com o objetivo de investigar a percepção de como o tráfego afeta, baseado em fatores como o estresse, a falta de paciência, a saúde e o desempenho no trabalho ou escola. A escolha das cidades foi realizada considerando a quantidade de habitantes e o respectivo nível de atividade econômica. Foram selecionadas as cidades de Bangalore, Beijing, Buenos Aires, Chicago, Johannesburgo, Londres, Los Angeles, Madri, Cidade do México, Milão, Montreal, Moscou, Nairóbi, Nova Delhi, Nova Iorque, Paris, Shenzhen, Singapura, Estocolmo e Toronto.

De forma geral, nas cidades selecionadas o carro é o principal meio de se deslocar para o trabalho ou para a escola. Em média, 65% dos entrevistados usam o automóvel privado ou motocicletas em seus deslocamentos, contra apenas 20% que utilizam o serviço público, e o restante 15% outros modos de transporte. Porém, observa-se que em algumas cidades, onde o transporte público é uma alternativa viável (com cobertura ampla, programação horária conveniente e tarifas acessíveis), a proporção de usuários no transporte privado é relativamente menor. Este estudo apontou que a distância média das viagens era 20,5 quilômetros, percorrida em 33 minutos. No entanto, a distância física não era o principal fator determinante do tempo de deslocamento, mas sim as condições de tráfego ao longo das vias.

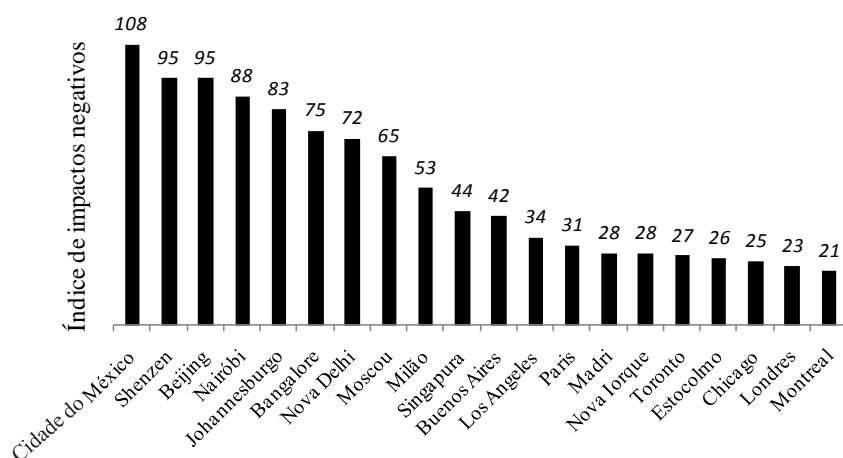
Os dados da pesquisa apontam que, de acordo com os motoristas, a pior parte do trânsito é o congestionamento com constantes paradas (51%), seguido uma imprevisibilidade do tempo total gasto na viagem (31%), baixa velocidade (28%) e a existência de motoristas rudes e agressivos (27%). Também foram investigados os efeitos do trânsito na saúde

física e emocional dos motoristas: 42% declararam um aumento no nível do estresse, 35% relataram que se sentiram mais nervosos, 16% informaram adquirir mais problemas respiratórios e dificuldades para dormir, e 13% tiveram algum tipo de envolvimento com acidente de trânsito.

O trabalho ainda mostrou que, em função das condições adversas do tráfego, parte dos cidadãos tem de promover mudanças na forma de se efetuar seus deslocamentos, quando possível. Em alguns casos, há a necessidade de se abortar viagens já em execução, pois as condições de tráfego não permitem a sua continuidade. Os destinos das viagens canceladas eram: trabalho ou escola (24%), locais de comércio (21%), recreação (17%), e restaurantes (11%). Outra medida tomada pelos usuários é a antecipação do início de suas viagens, com o objetivo de se evitar o tráfego nas vias em determinados horários.

As 20 cidades foram classificadas de acordo com as ponderações obtidas em índices emocionais e econômicos, tais como: tempo gasto nos deslocamentos, paradas em congestionamentos, preço do combustível, geração de estresse e nervosismo, efeitos negativos no trabalho, e cancelamento das viagens por motivo de más condições de trânsito. Na Figura 3 são mostradas as pontuações obtidas por estas cidades, sendo que quanto maior o índice, maiores são os impactos negativos do trânsito.

Figura 3 –Índice de impactos negativos do trânsito



Fonte: Adaptado de Gyimesi; Vicent; Lamba (2011).

2.8 O Programa Computacional TransCAD

O *software* TransCAD é um programa computacional baseado em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), utilizado para desenvolvimento de estudos, simulações e modelagens de redes de transportes. Sua estrutura de dados é composta de algoritmos robustos para cálculos vetoriais e matriciais, análise de redes multimodais, determinação de níveis de serviço, roteirização para atendimento a demandas de logística e de passageiros, e visualização gráfica georreferenciada em camadas (CALIPER, 1996a).

Do ponto de vista de integração, o *software* TransCAD tem uma arquitetura que permite suportar arquivos georreferenciados de outras plataformas, como os *softwares* AutoCAD, ArcGIS, *Google Earth*, MapInfo e Maptitude. No *software* TransCAD é, também, possível gerar dados nos formatos ASCII (*American Standard Code for InformationInterchange*), *shapefile*, DXF e *Oracle Spatial*(CALIPER, 1996b).

A partir de um arquivo contendo um mapa digital, de extensão *.map, é possível iniciar a construção de bases de dados vinculadas a camadas específicas para as análises, simulações e modelagens. O sistema trabalha com três tipos de arquivos: de pontos, de área e de linhas. A base de dados do tipo pontos representalocais discretos sobre um determinado mapa digital. O arquivo gerado pelo *software* TransCAD para este tipo de base tem extensão *.dbf e pode conter os mais diversos tipos de informações. Estruturalmente, trata-se de uma tabela (*dataview*) em que cada coluna representa um tipo de atributo, e as linhas correspondem aos registros (pontos). Como atributos obrigatórios, a base de dados tem o campo identificador do ponto (ID) e sua respectiva latitude e longitude, a fim de se determinar a sua localização espacial no mapa digital. Esses atributos obrigatórios são gerados automaticamente pelo *software* TransCAD ao se criar os pontos sobre o mapa (registros). Esta base de dados é utilizada, por exemplo, para criar e representar pontos de paradas de ônibus urbano, pontos de coleta e entrega de mercadorias, estações e terminais de passageiros e outros pontos de demanda por serviços de transportes.

A base de dados do tipo área é utilizada para se desenhar, sobre o mapa digital, uma superfície que abrange uma determinada região de interesse. Na criação da base de dados de áreas são atributos obrigatórios o número de identificação do registro e a área da superfície desenhada, que são gerados automaticamente pelo *software* TransCAD. A base de dados de linha é formada por arcos, que são estruturas de dados compostas por linhas (*links*) e nós (*endpoints*). Os arquivos possuem campos obrigatórios de número de identificação, comprimento e sentido. Esta de base de dados é utilizada para representar as vias de circulação, que após a construção da rede de trabalho (*network*) é o núcleo de suporte às simulações de roteirização.

Outra funcionalidade do *software* TransCAD é a possibilidade de criação de campos específicos nas bases de dados, podendo ainda utilizar fórmulas e operações matemáticas com os atributos das bases de dados. Desta forma, em uma única base de dados podem-se ter tanto as informações originais relativas às camadas, quanto dados inseridos manualmente e dados matematicamente gerados por meio de manipulações algébricas realizadas pelo usuário do sistema.

Para realizar as simulações de roteirização, o *software* TransCAD utiliza suas ferramentas de rede (*network*). Uma rede no *software* TransCAD é uma representação abstrata de um sistema de transporte formada por atributos de linhas e nós de uma base de dados do tipo linha. As ferramentas de rede são utilizadas no cálculo de rotas, na determinação de distâncias, tempo e no custo de viagens, e suportam modelagens de engenharia de tráfego. A partir dessas facilidades, o *software* TransCAD permite ao usuário a inserção de pontos de demandas, a criação de matrizes de viagens (origem-destino), a especificação de frotas do sistema de transporte, a programação da operação de uma rede e a roteirização dos deslocamentos, levando-se em consideração as métricas de custo e menor percurso.

Este capítulo tratou das referências bibliográficas utilizadas, explorando assuntos pertinentes ao planejamento urbano, ao transporte coletivo urbano, aos aspectos legais do Vale-Transporte, à qualidade do trânsito e ao programa computacional TransCAD. No próximo capítulo será apresentado o escopo do trabalho, com a definição do cenário a ser estudado.

CAPÍTULO 3 – DEFINIÇÃO DE CENÁRIO

Neste capítulo será feita a qualificação da empresa, citando seu ramo de atuação, quantidade de funcionários e algumas outras características de negócio. Na sequência, será mostrado como a base de dados de funcionários foi gerada para determinação do público-alvo do estudo. No final, o capítulo tratará da caracterização dos deslocamentos realizados pelos funcionários entre suas residências e o trabalho, definindo o perfil pendular das viagens.

3.1 Perfil da Empresa

A empresa em estudo é uma companhia privada, com sede em Uberlândia e com filiais em outras cidades do Brasil, e é atuante no ramo de serviços de centrais de atendimento (*contact center*). Atualmente a empresa possui cerca de 24 mil funcionários, dos quais a metade, aproximadamente, está lotada na unidade matriz, no Bairro Buritis. As atividades da companhia são ininterruptas, 24 horas por dia, 7 dias por semana e 365 dias por ano, divididas em turnos convenientemente estruturados para suprirem as demandas específicas de seus clientes.

Grande parte dos funcionários lotados na unidade matriz utiliza o transporte público urbano para efetuar seus deslocamentos entre residência e trabalho, o que caracteriza a empresa como um considerável polo gerador de viagens. Em horários de pico, especialmente próximo às trocas de turnos das operações, nota-se uma alta taxa de ocupação dos ônibus que ofertam o serviço de transporte público com destino e origem na região. A alta ocupação reflete negativamente na percepção qualitativa que o usuário tem com relação ao nível de serviço oferecido pelas empresas concessionárias e permissionárias do serviço de transporte.

Outro fato observado é a migração dos passageiros da rede pública para o transporte privado, principalmente na modalidade individual, como resposta à baixa qualidade percebida pelos funcionários na prestação do serviço de transporte público. Com isso, é crescente a quantidade de veículos automotores (carros e motocicletas) estacionados no entorno das dependências da empresa. Da mesma forma, crescem os riscos de acidentes de trabalho com funcionários durante o trajeto entre suas residências e local de trabalho impactando, também, a quantidade de afastamentos médicos e, consequentemente, o desempenho operacional da companhia.

3.2 Base de Dados dos Funcionários

Está disponível uma base de dados contendo informações cadastrais de todos os funcionários da empresa lotados na unidade do Bairro Buritis e que residem nos Bairros Santa Mônica e Segismundo Pereira. Como o foco do estudo foi simulação e modelagem de redes de transporte, foram considerados somente os campos relativos a endereços (logradouro, número e bairro) e cargo. Por se tratar de uma investigação inicial, este trabalho teve sua área geográfica de estudo limitada aos Bairros Santa Mônica e Segismundo Pereira, que são contíguos. Por questão de simplificação, será usada a denominação Bairro Santa Mônica para se referir aos dois bairros.

A fim de se obter um perfil mais próximo ao usuário mediano do transporte coletivo público (jovens estudantes em início da carreira profissional), a base de dados foi restrita também aos funcionários que ocupavam cargo de operadores e assistentes de *telemarketing* que trabalham no turno das 08h00min às 14h00min. Após a aplicação das considerações adotadas e descritas, a base de dados ficou limitada a 292 funcionários, moradores do Bairro Santa Mônica, cujos endereços estão distribuídos em 36 logradouros. Na Figura 4 é mostrada, em mapa digital, a delimitação geográfica da área de estudo.

Figura 4 –Delimitação da área de estudo



Fonte: Autoria própria.

3.3 Caracterização do Perfil das Viagens

Para as simulações deste trabalho foi adotada a premissa de que as viagens realizadas pelos funcionários obedecem ao padrão pendular, formado por deslocamentos das residências para o trabalho no período da manhã, e no sentido inverso no período da tarde. Dessa forma, a programação da operação do sistema de transporte deve ser de tal maneira elaborada para se garantir que os funcionários estejam devidamente desembarcados nas dependências da empresa antes do início do turno das 08h00min, e ao final do expediente (turno de 6 horas), às 14h00min, são iniciadas as viagens de retorno às residências.

Este capítulo abordou o perfil da empresa, delimitou a área inicial de estudo e tratou da base de dados contendo informações de endereços dos funcionários. No próximo capítulo serão apresentados os estudos de simulação da rede semipública de transporte.

CAPÍTULO 4 – SIMULAÇÕES DA REDE SEMIPÚBLICA DE TRANSPORTE

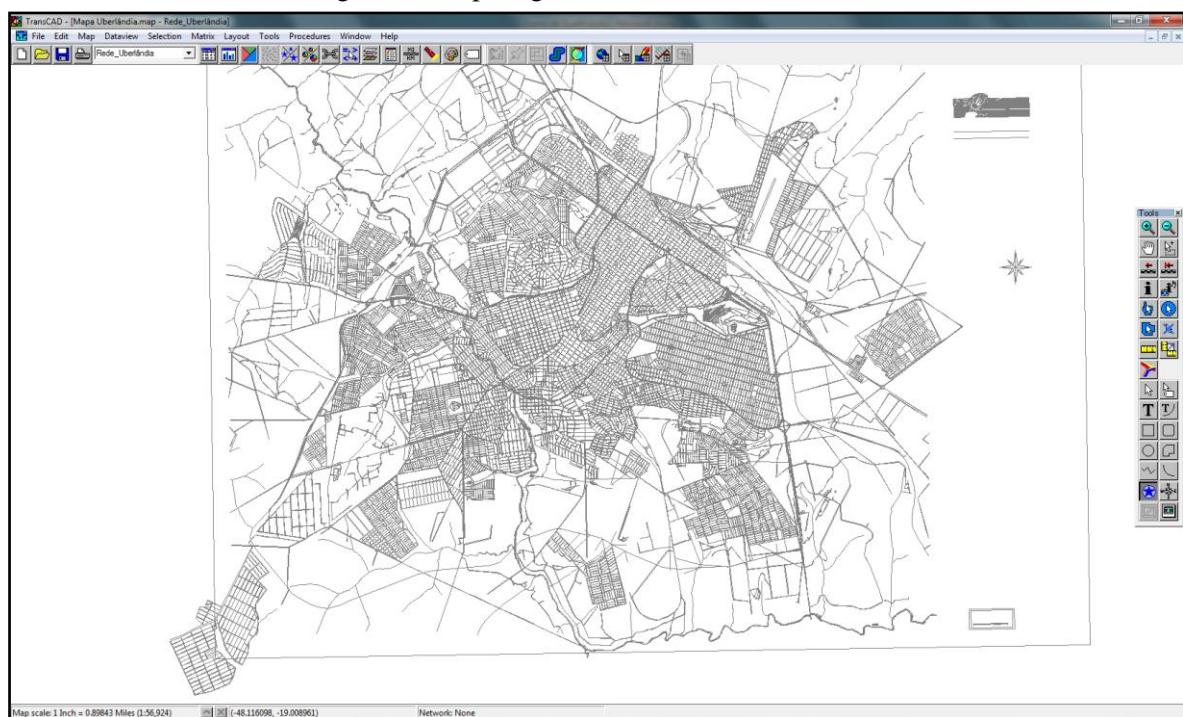
Este capítulo abordará os detalhes técnicos relacionados às simulações da rede semipública de transporte coletivo, envolvendo os aspectos de projeto, programação e operação. Inicialmente será mostrado o processo de criação das bases de dados georreferenciadas e a construção da rede de transporte no *software* TransCAD, versão 4.0, a partir de um mapa digital da cidade de Uberlândia. Na sequência, será tratada a montagem da camada de demanda, representada pela localização das residências dos funcionários, no Bairro Santa Mônica. Em seguida, serão realizadas as simulações de agrupamento – para determinação dos locais de parada dos veículos de transporte coletivo – e de roteirização, visando à otimização dos percursos e tempos de viagens. A seguir serão trabalhadas as simulações de diversos tipos de veículos para o atendimento às demandas, bem como a programação da operação. O capítulo é encerrado com os cálculos de tarifação do serviço, baseados na metodologia do GEIPOT, gerando informações para o capítulo seguinte, que analisará a viabilidade econômico-financeira.

4.1 Bases de Dados Georreferenciadas

A etapa inicial para obtenção de uma base de dados georreferenciada consistiu na inserção do arquivo do mapa digital da cidade de Uberlândia no *software* TransCAD. Durante esse procedimento foram ajustados os sistemas de coordenadas para UTM (*Universal Transversa de Mercator*), com campo de longitudes de 54ºW a 48ºW (UTM 22) e unidade de medida padrão em metros. O mapa foi configurado para utilizar referência de formato da Terra de acordo com o modelo Elipsoide 1967 ajustado para o Hemisférico Sul. Desta forma, foi conferida precisão ao arquivo digital, de modo assegurar cálculos exatos quando simuladas operações envolvendo deslocamentos.

Depois da execução dos procedimentos mencionados, foi gerado, no *software* TransCAD, o mapa digital com extensão (*.map), representando em uma única camada todo o mapa digital de Uberlândia, utilizando o arquivo geográfico do tipo linha. Este arquivo será usado para a criação das bases de dados que serão necessárias para a análise da rede de transporte, do agrupamento de demandas (paradas de ônibus) e das matrizes de roteirização. Na Figura 5 é mostrado o mapa digitalizado obtido do *software* TransCAD.

Figura 5 –Mapa digital da cidade de Uberlândia



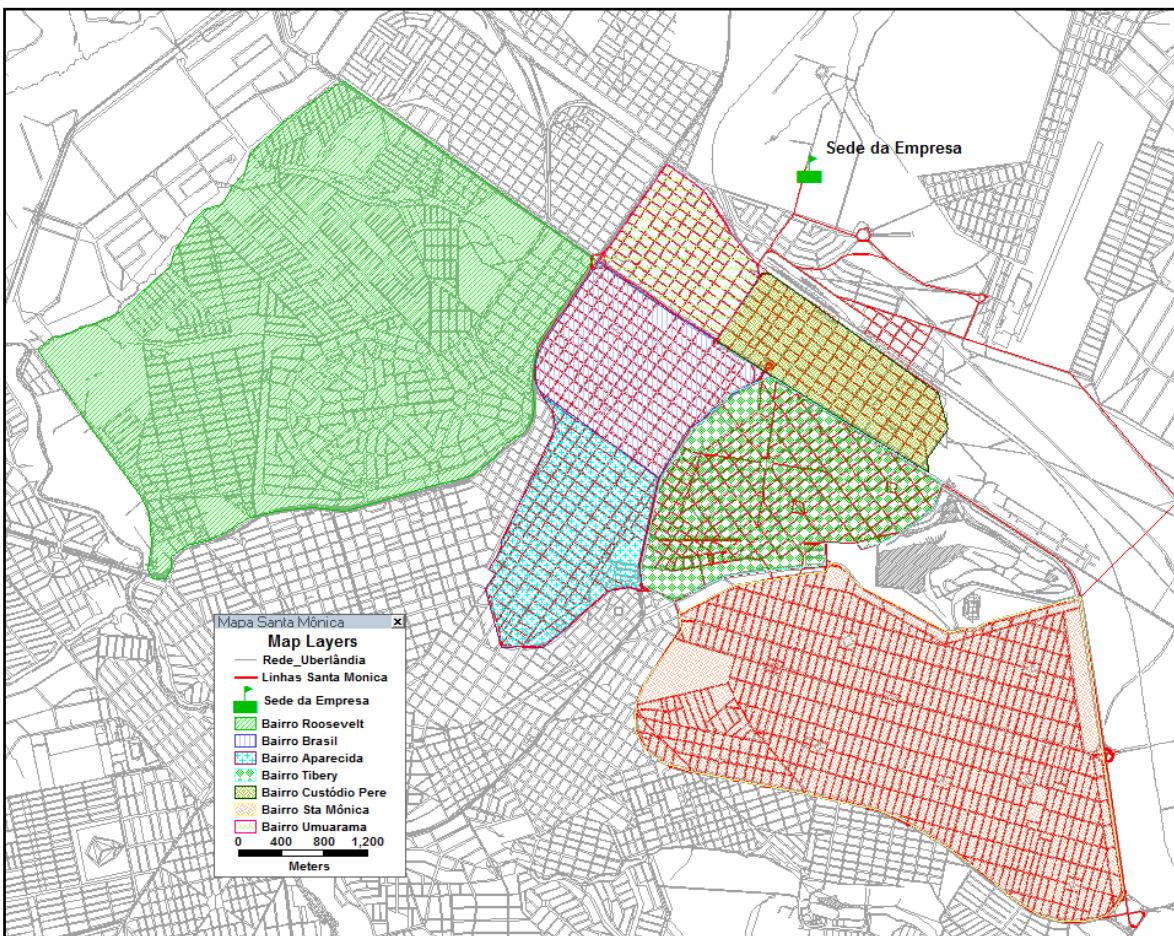
Fonte: Adaptado pelo autor.

A etapa seguinte consistiu em construir o arquivo geográfico do tipo linha, representando todas as ruas, avenidas, praças, rodovias e suas respectivas interseções. Considerando que a área de interesse deste estudo é fisicamente limitada, inicialmente foram criados os arcos e nós do Bairro Santa Mônica. Com o objetivo de maximizar as possibilidades de rotas entre este bairro e a sede da empresa no Bairro Buritis, também foram criados arcos e nós das vias dos bairros Tibery, Custódio Pereira, Aparecida, Brasil e Umuarama, além de trechos das BR-050 e BR-365.

No processo de criação deste arquivo geográfico foi observada a recomendação de se estabelecer, a cada cruzamento, um ponto de interseção entre os arcos, permitindo,

portanto, total flexibilidade nas simulações de percursos. Esta base de dados criada recebeu o nome “Linhas Santa Mônica”. No *software* TransCAD, ao criar um arquivo geográfico do tipo linha, é criado, automaticamente, um segundo arquivo, do tipo ponto, que representa os nós (pontos de interseção) das vias. A base de dados de nós recebeu o nome “Nós Santa Mônica”. Na Figura 6 é mostrada, destacada em cor vermelha, a camada de arcos e nós, representando as vias de circulação da área em estudo, em que, também são indicadas as posições dos bairros Santa Mônica, Tibery, Aparecida, Brasil, Roosevelt, Umuarama e Custódio Pereira, assim como a localização da empresa.

Figura 6 –Arquivo geográfico de linhas, com arcos e nós



Fonte: Autoria própria.

A base de dados (*dataview*) do arquivo geográfico Linhas Santa Mônica é criado inicialmente pelo TransCAD com os campos de identificação do arco (ID), seu comprimento (*Length*) e sentido de deslocamento. No decorrer do desenvolvimento deste trabalho serão necessárias as informações relacionadas a tempo de viagens. Desta forma,

foram criados dois novos campos de dados no *dataview* de Linhas Santa Mônica: velocidade das vias e o tempo de deslocamento no respectivo arco.

No campo Velocidade(km/h) foram inseridas as velocidades máximas das vias públicas em 60km/h nos trechos urbanos das rodovias BR-050 e BR-365, e nas avenidas Rondon Pacheco, João Naves de Ávila e Doutor Vicente Salles Guimarães. Nas demais vias públicas, a velocidade máxima foi configurada para 40km/h. No campo Tempo(minutos) foi utilizado o recurso *Formula Field* do TransCAD, em que do parâmetro tempo foi automaticamente calculado pelo software por meio da Equação 1, em que d é o comprimento do arco, em metros, v é a velocidade máxima da via no local, em quilômetros por hora, e t é o tempo gasto pelo veículo para percorrer o respectivo arco, em minutos.

$$t = (d \cdot 3,6) / (v \cdot 60) \quad (1)$$

Na Figura 7 é mostrada a estrutura do *dataview* do arquivo Linhas Santa Mônica.

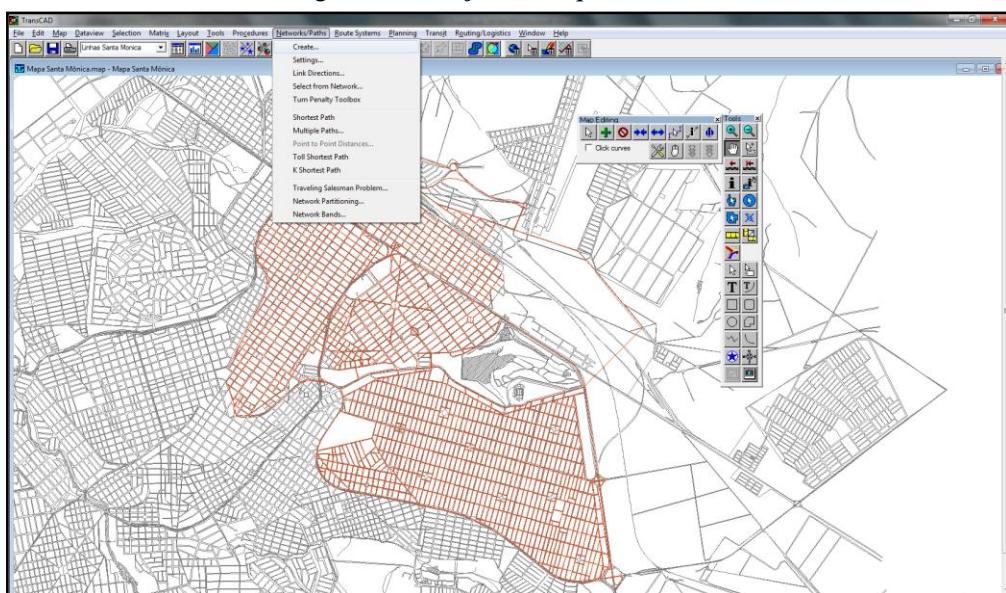
Figura 7 – Estrutura do *dataview* do arquivo Linhas Santa Mônica

ID	Length	Dir	Velocidade (km/h)	Tempo(minutos)
1	69.50	1	40	0.1042
2	36.35	1	40	0.0545
3	7.31	0	60	0.0073
4	107.73	0	60	0.1077
5	84.65	0	60	0.0846
6	130.81	0	60	0.1308
7	48.16	0	60	0.0482
12	108.45	0	60	0.1084
13	28.63	0	60	0.0286
14	24.69	0	60	0.0247
16	15.90	0	60	0.0159
17	87.80	0	60	0.0878
18	49.14	0	60	0.0491
19	12.91	0	60	0.0129
20	50.55	0	60	0.0506
21	106.68	0	60	0.1067
22	31.37	0	60	0.0314
23	46.56	0	60	0.0466
24	46.71	0	60	0.0467
25	55.93	0	60	0.0559
26	31.23	0	60	0.0312
27	74.06	0	60	0.0741
28	15.63	0	60	0.0156
29	108.85	0	60	0.1089
30	58.59	0	60	0.0586
31	26.29	0	60	0.0263
32	39.68	0	60	0.0397
33	23.29	0	60	0.0233
34	65.57	0	60	0.0656
35	100.09	0	60	0.1001
36	87.43	0	60	0.0874
37	14.21	0	60	0.0142

Fonte: Autoria própria.

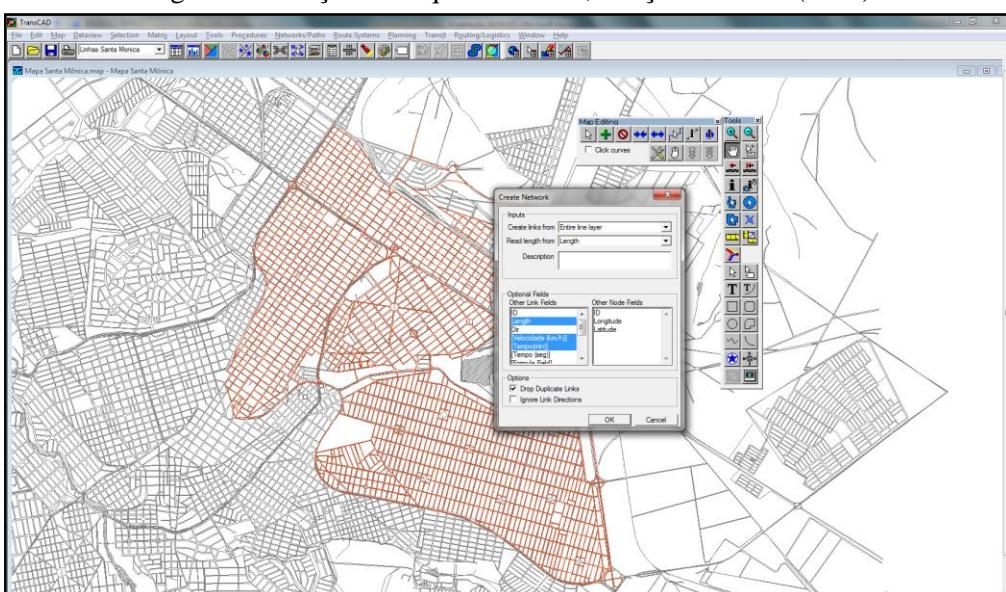
Uma base de dados do tipo linha, em sua configuração inicial, não constitui uma rede de transporte. A criação da rede é necessária para que haja a associação das informações dos arquivos de linha e de nós, gerando uma base de dados capaz de suportar os algoritmos de modelagem e simulações executadas pelo TransCAD. Tendo como base os arquivos geográficos de linha (Linhas Santa Mônica) e nós (Nós Santa Mônica), foi gerado o arquivo de rede correspondente, designado com o nome Rede Santa Mônica. Nas Figuras 8 e 9 é mostrado o processo de criação do arquivo de rede.

Figura 8 –Criação do arquivo de rede



Fonte: Autoria própria.

Figura 9 –Criação do arquivo de rede, criação de arcos (links)



Fonte: Autoria própria.

4.2 Camada de Demanda

O Bairro Santa Mônica possui, atualmente, um índice de verticalização relativamente elevado, com a presença de muitos prédios de portes pequeno e médio ao longo das vias urbanas. Assim, na área em estudo, os 292 funcionários da empresa estão distribuídos em 155 endereços diferentes e em 36 logradouros distintos. Na Tabela 6 é mostrada a quantidade de endereços e de funcionários em cada um dos logradouros.

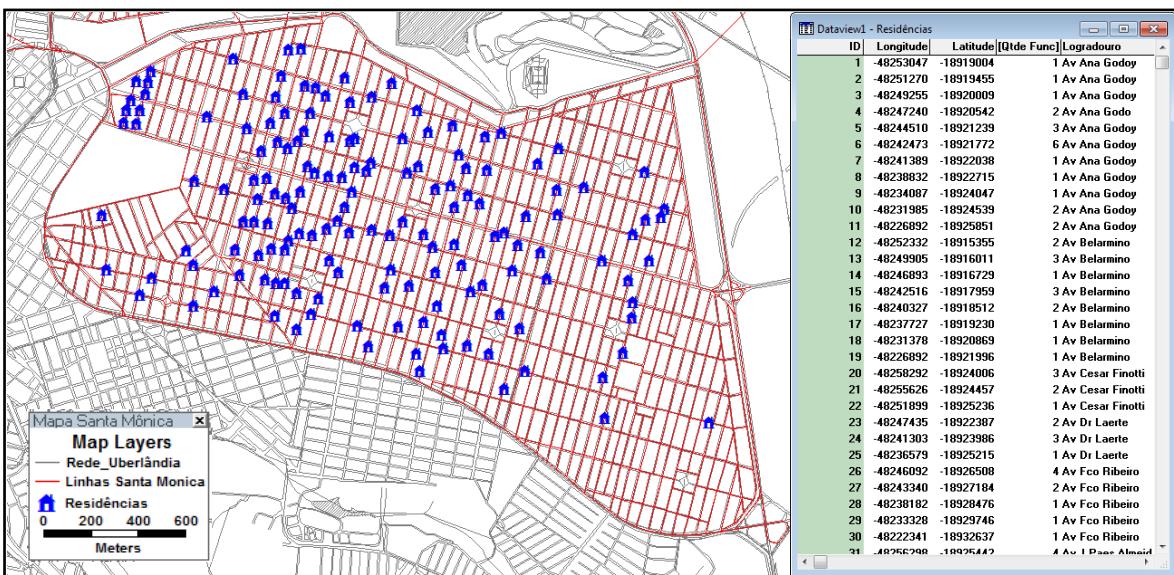
Tabela 6 – Quantidade de endereços e funcionários por logradouro

Logradouro	Quantidade de endereços	Quantidade de funcionários
Avenida Ana Godoy de Sousa	11	21
Avenida Belarmino Cota Pacheco	7	14
Avenida César Finotti	3	6
Avenida Dr Laerte Vieira Gonçalves	3	6
Avenida Francisco Ribeiro	5	9
Avenida Ortíz Borges	6	12
Avenida Profº Juvenília dos Santos	6	12
Avenida Salomão Abrahão	6	11
Avenida Segismundo Pereira	3	6
Rua Alberto Alves Cabral	4	8
Rua Américo Ferreira Abreu	1	1
Rua AntonioSalviano de Rezende	4	7
Rua Atílio Valentini	8	16
Rua Domingos de Freitas	3	6
Rua Francisco Antônio de Oliveira	5	9
Rua Izau Rangel de Mendonça	1	2
Rua Izaura Augusta Pereira	5	9
Rua Jerônima Lucas Barros	3	6
Rua Jorge Martins Pinto	4	8
Rua Jornalista João de Oliveira	5	9
Rua José Carrijo	5	9
Rua José Miguel Saramago	5	10
Rua José Paes de Almeida	2	5
Rua Lucydio Paes	4	8
Rua Manoel Serralha	5	9
Rua Marciano Santos	1	2
Rua Miguel Rocha dos Santos	4	7
Rua Nordau Gonçalves de Melo	5	9
Rua Orozimbo Ribeiro	5	5
Rua Patrulheiro Osmar Tavares	4	8
Rua Pedro José Samora	6	12
Rua Pericles Vieira da Mota	5	9
Rua Profº Maria Alves Castilho	4	8
Rua Santa Edwiges	1	2
Rua Sebastião José Sobrinho	2	3
Rua Sebastião Rangel	4	8
Total	155	292

Fonte: Autoria própria.

Tendo como referência o *software Google Maps*, disponível gratuitamente na *internet*, foi determinada a posição no mapa de cada um dos 155 endereços. Esta etapa foi concluída com a criação, no *software TransCAD*, de um arquivo geográfico de ponto, contendo 155 registros correspondentes às residências dos funcionários. Na Figura 10 é representada a camada Residências, onde se observa a estrutura do arquivo criado, contendo, para cada ponto, o código de identificação (ID), a longitude, a latitude, a quantidade de funcionários residentes no endereço e o nome do logradouro.

Figura 10 –Representação das residências dos funcionários



Fonte: Autoria própria.

4.3 Agrupamento

Com a demanda geograficamente distribuída, é importante se estabelecer critérios de agrupamento visando ao estabelecimento dos pontos de acesso ao serviço. No caso específico deste estudo, o agrupamento vai determinar a posição de cada ponto de parada dos ônibus para embarque e desembarque dos funcionários da empresa. A quantidade e a posição dos pontos serão determinadas em função da distância média que cada passageiro terá de caminhar, de sua residência até o ponto de acesso ao serviço de transporte.

A simulação de agrupamento feita no *software TransCAD* requer, inicialmente, que seja gerada uma matriz de origem e destino, contendo os parâmetros de impedância a serem

considerados durante as iterações do algoritmo. Foi criada uma matriz contendo a distância entre as residências dos funcionários, uma matriz quadrada, de ordem 155, com diagonal principal igual a zero, e simétrica. A partir desta matriz, e com uso da ferramenta “*clustering*” do TransCAD, foram simulados os cenários de agrupamento considerando diversas quantidades de pontos de embarque e desembarque dos passageiros. Em cada caso, a partir da posição de cada ponto, foram calculadas as distâncias percorridas pelos funcionários desde suas residências até o ponto de acesso ao serviço. Na Tabela 7 são mostradas a distância média e distância máxima percorrida pelos funcionários, em função da quantidade de pontos de agrupamento da demanda. Observa-se que a partir de 30 pontos de embarque e desembarque, a distância média de caminhada não é reduzida de forma tão significativa quanto nos casos de 5, 10, 15, 20 e 25 pontos.

Tabela 7 – Distâncias médias e máximas até o ponto de acesso ao serviço

Quantidade de pontos embarque/desembarque	Distância média (m)	Distância máxima (m)
5	610	1.068
10	391	1.055
15	315	870
20	245	870
25	206	870
30	173	438
35	158	538
40	146	437

Fonte: Autoria própria.

A determinação da quantidade de pontos de parada dos ônibus deve ser feita levando-se em consideração não somente a distância de caminhada dos passageiros até o local de acesso ao serviço. Deve-se ponderar, também, que para cada ponto de embarque e desembarque há tempo perdido nos procedimentos de desaceleração do veículo, abertura de portas, entrada e saída dos passageiros e aceleração, aumentando o tempo de viagem. Há, também, implicações nos aspectos de roteirização, influenciando a distância total da viagem do ônibus e os custos da operação. Portanto, a decisão sobre a quantidade de pontos de acesso ao serviço será feita buscando o equilíbrio entre os fatores de qualidade (distância de caminhada dos passageiros), operacional (roteirização, tempo de viagem) e financeira (custos).

Na ausência de uma norma regulamentadora que discipline sobre a distância média entre os pontos de ônibus coletivos urbanos e sobre a distância média caminhada dos passageiros até o ponto de acesso ao serviço, no planejamento da rede de transporte são adotadas referências e recomendações da literatura sobre o tema. De acordo com Ferraz e Torres (2004), o transporte público de boa qualidade deve possuir distância de caminhada, até o ponto de ônibus, de até 300 metros no início e no final das viagens. Para a distância entre os pontos de ônibus, a recomendação é que o espaçamento esteja entre 200 e 600 metros.

Para exemplificação dos dados gerados pela rotina de “*clustering*” do TransCAD, foram compiladas as informações de simulação de agrupamento com 35 paradas. Na Tabela 8 são mostrados, para cada ponto de embarque e desembarque, o código da residência de referência, o código das residências servidas, a quantidade de funcionários prevista e a distância média de caminhada até às demais residências pertencentes àquele agrupamento.

Tabela 8 – Agrupamento da demanda em 35 pontos de embarque e desembarque

Ponto	Residência de referência	Código das residências servidas	Quantidade de funcionários	Distância média de caminhada (m)
1	4	3,4,92,93,122,142	10	142
2	9	9,10,75,104,108,150	13	264
3	17	17,36,105,113,128,151	9	151
4	20	20,21,31,115	11	269
5	22	22,32,39,79	6	174
6	26	26,58,98,130,136	12	212
7	30	30	1	0
8	33	12,33,45	5	233
9	35	35,47,89	5	139
10	44	44,70	2	39
11	46	46,139	2	126
12	50	38,50,154	5	228
13	51	15,51,56,60,133,138	12	166
14	54	54,131	4	78
15	55	23,55,91,99,132	9	105
16	61	57,61,62,101,134	11	140
17	63	1,2,40,63,64,121,155	11	250
18	67	13,14,41,42,43,65,66,67,68,123,143	26	177
19	72	11,19,53,72,73,153	9	177
20	74	29,74,107,145,146	6	224
21	76	52,76,77,109,147	10	114
22	80	80	3	0
23	83	81,82,83,119	7	97
24	85	27,85,86	6	113
25	88	16,87,88	6	107
26	96	71,95,96,97	8	200
27	103	25,103,111	3	142
28	106	48,106,114,129,152	11	162
29	110	28,102,110,125,149	11	148

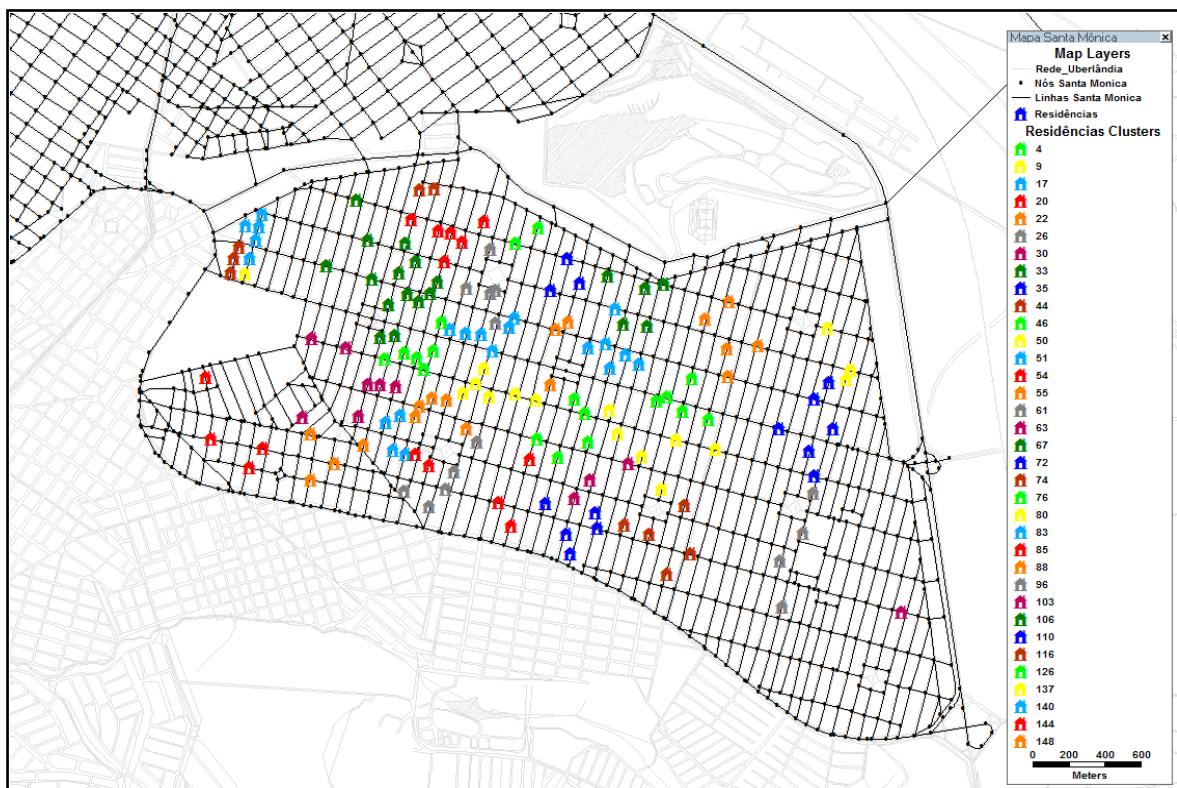
Tabela 8 – Agrupamento da demanda em 35 pontos de embarque e desembarque(continuação)

Ponto	Residência de referência	Código das residências servidas	Quantidade de funcionários	Distância média de caminhada (m)
30	116	116,117,118	11	70
31	126	8,24,112,126,127	7	154
32	137	5,6,7,59,100,137	16	109
33	140	90,120,140,141	7	85
34	144	34,69,94,124,135,144	10	119
35	148	18,37,49,78,148	12	156

Fonte: Autoria própria.

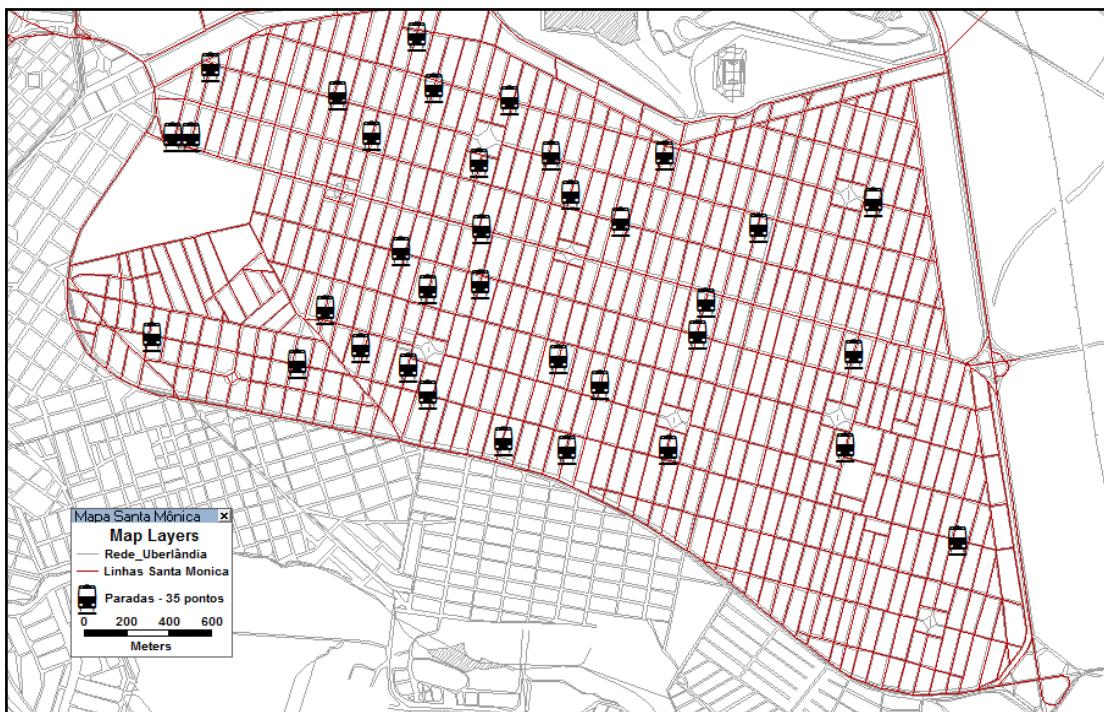
Na Figura 11 são mostrados os locais definidos para a parada dos veículos. Na Figura 12 é mostrada a camada de visualização do agrupamento da demanda, formando 35 áreas de concentração de passageiros. Na legenda mostrada na Figura 12 é apresentado o código da residência de referência, que corresponde ao local de embarque e desembarque dos passageiros atendidos pelo ponto.

Figura 11 –Agrupamento da demanda em 35 pontos de concentração



Fonte: Autoria própria.

Figura 12 – Local dos 35 pontos de embarque e desembarque



Fonte: Autoria própria.

4.4 Veículos Considerados

Por se tratar de um projeto de rede de transporte, no qual a demanda e os deslocamentos estão situados em área urbana, este trabalho irá considerar a possibilidade de uso dos mesmos tipos de veículos atualmente em uso no transporte público da cidade de Uberlândia. Assim, serão simuladas operações de rede e cálculos tarifários para os cenários com uso de ônibus dos tipos Convencional, *Padron* e Especial (*Padron* articulado). Na Figura 13 são mostrados os três modelos de ônibus considerados neste estudo.

Figura 13 – Tipos de ônibus- Convencional (à esquerda), *Padron* (ao centro) e Especial (à direita)



Fonte: Convencional: Farolcomunitario (2015); *Padron* e Especial: Skyscrapercity (2015).

Na Tabela 9 é mostrado o investimento estimado para aquisição de cada tipo de veículo considerado neste estudo. Os dados foram obtidos na planilha de cálculo de tarifas de passagens urbanas da Prefeitura Municipal de Uberlândia, publicada em janeiro de 2015, e contempla os investimentos em chassi e carroceria do ônibus.

Tabela 9 – Investimento para aquisição de ônibus

Tipo de veículo	Custo chassi (R\$)	Custo da carroceria (R\$)	Custo total (R\$)
Convencional	142.200,00	104.400,00	246.600,00
<i>Padron</i>	218.000,00	117.000,00	335.000,00
Especial	360.000,00	400.000,00	760.000,00

Fonte: Uberlândia (2015).

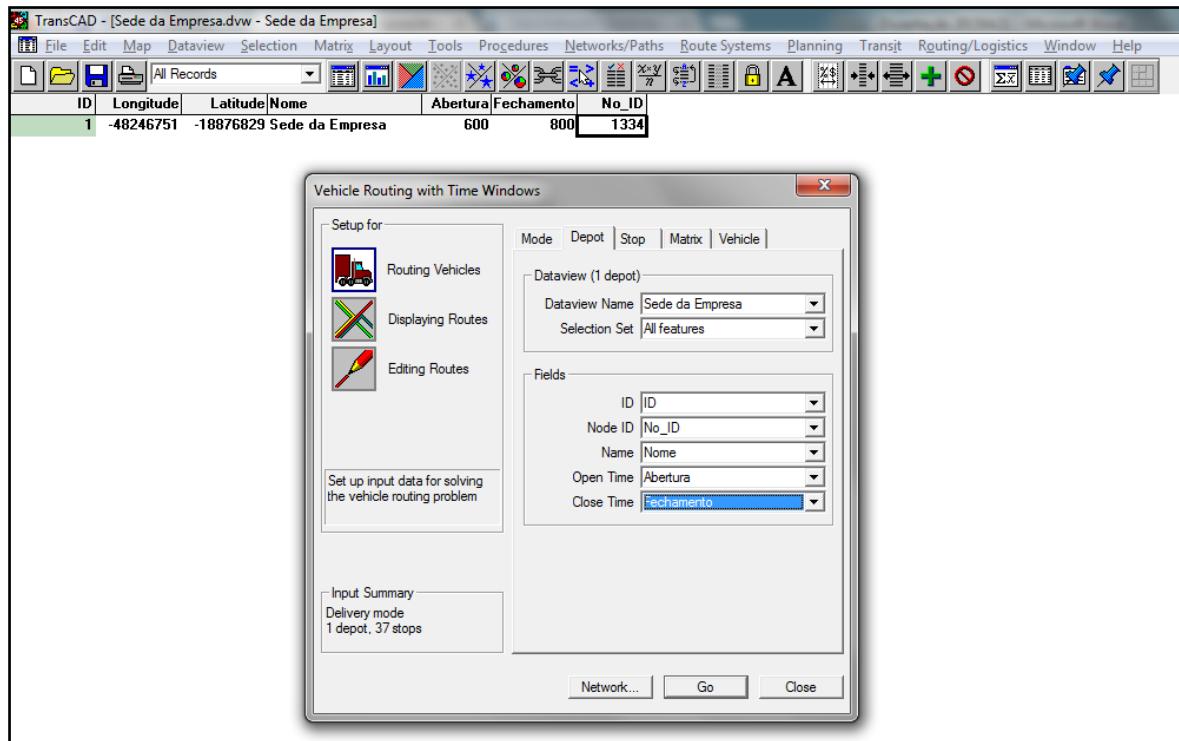
A capacidade de cada tipo de veículo varia em função da configuração da carroceria montada sobre o chassi. Tendo como base o artigo 9º da Resolução 4.130/2013 (BRASIL, 2013), que normaliza a quantidade máxima de passageiros em pé em 4,5 passageiros por metro quadrado foi considerada, neste estudo, a possibilidade de até 50% dos funcionários serem transportados em pé. Dessa forma, adotou-se a capacidade dos veículos Convencional, *Padron* e Especial como sendo 50, 84 e 115 passageiros, respectivamente.

4.5 Programação da Operação

Para as simulações de roteirização, o *software* TransCAD utiliza a ferramenta *Vehicle Routing*, que modela operações de entrega (*delivery*), de coleta (*pickup*), de entrega e coleta (*mixed pickup and delivery*) e de retorno (*backhaul*). O algoritmo requer como argumentos a posição dos depósitos (*depots*) e dos pontos de parada (*stops*), a matriz de roteirização (*Vehicle Routing Problem Matrix*), e uma tabela de veículos (*vehicle table*). A posição do depósito corresponde à localização de onde os veículos sairão para fazer a coleta, que no caso específico deste trabalho, equivale à localização da sede da empresa, no Bairro Buritis. Foi gerado o arquivo geográfico *Sede da Empresa*, contendo somente um registro, com os campos de identificação, coordenadas geográficas, identificação do nó de rede mais próximo, nome do local, horário de abertura e horário de fechamento da operação. Na Figura 14 é mostrada a configuração no *software* TransCAD para o ponto de saída dos veículos, considerando uma operação de coleta. A modelagem inicial considerou

a operação com início pela manhã, com os veículos saindo vazios da sede da empresa, para a coleta dos funcionários. A janela de operação deste ponto foi configurada para se iniciar às 07h00min e se encerrar às 08h00min, horário no qual todos os funcionários do turno deverão iniciar a jornada de trabalho.

Figura 14 – Configuração da função de roteirização para o depósito



Fonte: Autoria própria.

Com relação aos pontos de parada, as informações iniciais são geradas a partir das modelagens de agrupamento (*clustering*) no *software* TransCAD, conforme consta na Seção 4.3. Além dos campos de identificação e de coordenadas geográficas, o arquivo geográfico representativo dos pontos de embarque e desembarque também deve possuir, para cada um dos pontos, os horários de abertura e fechamento (janela de coleta), as quantidades de coleta e de entrega, o nó mais próximo utilizado pela rede para localizar os registros da camada de pontos, e os tempos fixo e variável perdidos durante os procedimentos de aproximação, parada, coleta e entrega, e retomada da velocidade operacional.

Na simulação da rede de transporte proposta considerou-se que a coleta dos funcionários nos pontos de embarque se iniciasse a partir das 07h30min, com duração de meia hora. Desta forma, os horários de abertura e fechamento foram configurados para 07h30min e 08h00min, respectivamente. Por se tratar de uma operação inicial de coleta, o arquivo gerado contém o campo Desembarque com todos os valores nulos, e o campo Embarque contém a quantidade de funcionários que irão acessar o serviço no ponto específico (parada).

Na configuração do tempo fixo de serviço é avaliado o tempo gasto na desaceleração do veículo ao se aproximar do ponto de embarque (aproximação), o tempo de abertura e fechamento de portas e o tempo de aceleração na saída, até a retomada da velocidade operacional. Para este cálculo foram utilizados os parâmetros abaixo, obtidos de várias fontes.

- Desaceleração máxima dos veículos de $1,6\text{m/s}^2$ (aproximação);
- Aceleração máxima dos veículos de $1,0\text{m/s}^2$ (retomada);
- Tempo padrão de abertura de fechamento das portas dos veículos de 5 segundos;
- Máxima velocidade operacional de 40km/h na região onde ocorrem os embarques.

Com uso da Equação 2 foram calculados tempo de aproximação (7,4 segundos) e o tempo de retomada (11,1 segundos), que, somados ao tempo de abertura e fechamento das portas, totalizaram em 23,5 segundos o tempo fixo, equivalente a 0,39 minutos.

$$v_f = v_o + a \cdot t \quad (2)$$

Em que: v_f é a velocidade final, v_o é a velocidade inicial, a é a aceleração ou desaceleração máxima, e t é o tempo de aproximação ou retomada de velocidade de cruzeiro.

O tempo variável de serviço é determinado em função da quantidade de passageiros que farão o embarque e desembarque em cada ponto. Para este cálculo considerou-se um valor padrão para a taxa de embarque $\mu = 0,5$ passageiro por segundo, o que significa que cada

passageiro levará 2 segundos para embarcar. Por meio da Equação 3, em que n representa a quantidade de passageiros em cada ponto, é determinado o tempo variável para embarque de 2 segundos por passageiro, o que corresponde a 0,03 minutos para cada embarque.

$$t = n / \mu \quad (3)$$

Para as modelagens de roteirização serão considerados 3 cenários para estudo: rede com 30, 35 e 40 paradas. Esta opção se justifica pelo fato de que em tais cenários a distância média de caminhada é inferior a 200 metros, conforme mostrado na Tabela 7 da Seção 4.3, conferindo ao sistema de transporte um quesito de qualidade percebida pelos usuários. Dessa forma, foram criados 3 arquivos geográficos de pontos, correspondendo aos cenários descritos e as respectivas modelagens serão demonstradas nas Seções 4.5.1, 4.5.2 e 4.5.3.

4.5.1 Roteirização da Rede com 30 Paradas

Neste cenário, a modelagem da rede de transporte será realizada considerando que a camada de demanda, composta por 292 funcionários distribuídos em 155 residências, será agrupada em 30 *clusters*. Na Figura 15 é mostrada a estrutura do *dataview* do arquivo geográfico que representa os pontos de embarque e desembarque (30 paradas), bem como a tela de configuração da aba “Stop” no *software* TransCAD.

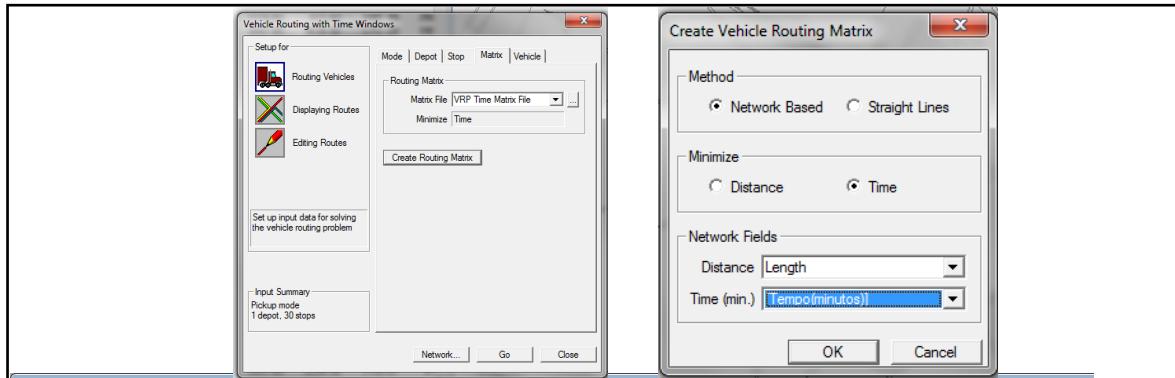
Figura 15 – Configuração dos dados dos pontos de embarque e desembarque

The screenshot shows the TransCAD software interface. On the left, the 'Dataview' window is open, titled 'Dataview1 - Paradas - 30 pontos'. It displays a table with 30 rows, each representing a stop point with columns for ID, Longitude, Latitude, Residential Name, Abertura (Opening), Fechamento (Closing), Desembarque (Disembarkation), and Embarque (Embarkation). The 'Embarkation' column contains numerical values ranging from 0 to 14. On the right, a 'Vehicle Routing with Time Windows' configuration dialog is open. It includes a 'Setup for' section with options for 'Routing Vehicles', 'Displaying Routes', and 'Editing Routes'. Below this is a 'Fields' section with dropdown menus for ID, Node ID, Name, Open Time, Close Time, Fixed Time, Unit Time, Assigned Depot, Delivery Demand, and Pickup Demand. The 'Pickup Demand' dropdown is set to 'Embarque'. At the bottom right of the dialog are buttons for 'Network...', 'Go', and 'Close'.

Fonte: Autoria própria.

Todos os cálculos executados pela rotina de roteirização do *software* TransCAD utilizam uma estrutura matricial para determinação dos tempos e distâncias das viagens entre as paradas e o depósito. Neste procedimento é gerada uma matriz de roteirização quadrada e de ordem N , em que N equivale à soma da quantidade de paradas e depósitos, indicando as distâncias e tempos de viagens entre os pontos. No cálculo da rota entre dois pontos, o algoritmo pode minimizar a distância ou o tempo, permitindo que as viagens sejam mais curtas ou mais rápidas possíveis. Na Figura 16 são mostradas as matrizes de roteirização obtidas para cenário de 30 paradas, com o método de minimização do tempo. Os valores da extensão das viagens estão expressos em metros e o tempo em minutos.

Figura 16–Criação das matrizes de roteirização



The screenshot shows the TransCAD software interface for vehicle routing. On the left is the 'Vehicle Routing with Time Windows' window, which includes tabs for 'Setup for', 'Mode', 'Depot', 'Stop', 'Matrix', and 'Vehicle'. The 'Matrix' tab is selected, showing a dropdown for 'Matrix File' (set to 'VRP Time Matrix File') and a 'Minimize' dropdown (set to 'Time'). Below these are buttons for 'Create Routing Matrix' and 'Network...'. On the right is a 'Create Vehicle Routing Matrix' dialog box. It has a 'Method' section with 'Network Based' selected over 'Straight Lines'. Under 'Minimize', 'Time' is selected over 'Distance'. In the 'Network Fields' section, 'Distance' is selected over 'Length'. The 'Time (min.)' field is set to 'Tempo(minutos)'. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

	329	332	337	347	361	366	387	401	427	440	443	467	468	485	504
329	0.00	221.36	593.28	1332.20	2490.28	951.74	1011.69	2040.08	403.17	1357.95	1582.36	1340.88	1352.15	1049.10	2437.95
332	221.36	0.00	371.92	1110.84	2268.92	1173.10	790.33	1818.72	610.31	1136.59	1361.00	1562.24	1573.51	829.32	2216.59
337	593.28	371.92	0.00	738.92	1897.01	1545.02	418.41	1446.81	982.23	764.67	989.09	1934.16	1945.42	747.83	1844.67
347	1332.20	1110.84	738.92	0.00	1158.09	2785.23	708.18	707.89	1721.15	761.81	541.12	3368.60	3444.90	1474.13	1105.92
361	2490.28	2268.92	1897.01	1158.09	0.00	4006.58	1744.04	712.13	2757.38	1797.67	1575.48	4589.95	4666.25	2509.99	1114.83
366	951.74	1173.10	1545.02	2682.10	3903.44	0.00	1768.56	3387.76	995.92	1960.65	2186.26	458.72	403.03	1641.85	3041.85
387	1011.69	790.33	418.41	708.18	1744.04	1768.56	0.00	1031.91	1013.34	346.26	570.67	2101.45	2025.15	768.53	1426.26
401	2040.08	1818.72	1446.81	707.89	712.13	2800.47	1031.91	0.00	2045.25	1085.54	863.35	4074.27	3095.56	1797.86	406.54
427	403.17	610.31	982.23	1721.15	2757.38	995.92	1013.34	2045.25	0.00	964.73	1190.34	1088.11	1011.81	645.93	2045.93
440	1357.95	1582.36	1361.00	1562.24	1573.51	2509.99	1114.83	4666.25	2509.99	1114.83	1573.51	829.32	2216.59	1049.10	2437.95
443	1340.88	1352.15	1357.95	1361.00	1366.59	2509.99	1114.83	4666.25	2509.99	1114.83	1366.59	829.32	2216.59	1049.10	2437.95
467	1049.10	2437.95	1352.15	1361.00	1366.59	2509.99	1114.83	4666.25	2509.99	1114.83	1366.59	829.32	2216.59	1049.10	2437.95
485	4666.25	2509.99	1114.83	1366.59	1361.00	2509.99	1114.83	4666.25	2509.99	1114.83	1366.59	829.32	2216.59	1049.10	2437.95
504	2437.95	1049.10	2437.95	1366.59	1361.00	2509.99	1114.83	4666.25	2509.99	1114.83	1366.59	829.32	2216.59	1049.10	2437.95
528	1.74	2.85	1.11	0.00	1.74	3.40	1.06	1.06	2.58	1.14	0.81	3.68	3.79	2.21	1.66
538	1.43	1.76	2.32	3.21	4.77	0.00	2.65	4.16	1.49	2.94	3.28	0.69	0.60	2.46	4.56
583	1.52	1.19	0.63	1.06	2.62	2.65	0.00	1.55	1.52	0.52	0.86	3.15	3.04	1.15	2.14
588	401	3.06	2.73	2.17	1.06	1.07	4.20	1.55	0.00	3.07	1.63	1.30	4.63	4.58	2.70
597	427	0.60	0.92	1.47	2.58	4.14	1.49	1.52	3.07	0.00	1.45	1.79	1.63	1.52	0.97
634	440	2.04	1.70	1.15	1.14	2.70	2.94	0.52	1.63	1.45	0.00	0.34	3.07	2.96	1.07
677	443	2.37	2.04	1.48	0.81	2.36	3.28	0.86	1.30	1.79	0.34	0.00	3.41	3.29	1.41
698	467	2.01	2.34	2.90	3.49	5.04	0.63	3.15	4.44	1.63	3.07	3.41	0.00	0.11	2.00
702	468	2.03	2.36	2.92	3.60	5.16	0.60	3.04	4.55	1.52	2.96	3.29	0.11	0.00	1.89
708	485	1.57	1.24	2.21	3.76	2.46	1.15	2.70	0.97	1.07	1.41	2.00	1.89	0.00	2.10
731	504	3.66	3.32	2.77	1.66	1.67	4.56	2.14	0.61	3.07	1.62	1.28	4.11	3.99	2.10
829	512	4.54	4.21	3.65	2.54	1.01	5.45	3.02	1.49	3.95	2.51	2.17	4.99	4.87	2.99
856	528	1.43	1.74	2.30	3.40	4.95	1.88	2.34	3.88	0.82	2.26	2.59	1.40	1.29	1.19
916	538	2.10	1.77	1.21	2.29	3.84	2.99	1.24	2.77	1.50	1.15	1.48	2.52	2.40	0.53
1334	588	1.84	1.52	2.07	3.16	4.71	2.61	2.10	3.64	1.24	2.01	2.35	2.14	2.02	0.94
1334	597	2.41	2.08	1.52	2.59	4.14	3.18	1.54	3.08	1.80	1.45	1.79	2.71	2.59	0.84
1334	634	3.38	3.05	2.49	1.61	3.16	4.18	1.87	2.09	2.79	1.35	1.01	3.70	3.59	1.82
1334	677	2.54	2.22	2.11	3.18	4.74	3.17	2.13	3.67	1.94	2.04	2.38	2.69	2.58	0.99
1334	698	5.50	5.16	4.61	3.50	1.98	6.31	3.98	2.44	4.91	3.46	3.12	5.84	5.72	3.94
1334	702	3.88	3.64	3.08	2.21	3.75	4.40	2.45	2.69	3.27	1.93	1.61	3.92	3.81	2.40
1334	708	4.56	4.30	3.75	2.64	3.07	5.06	3.12	2.02	3.95	2.60	2.26	4.60	4.49	3.07
1334	731	6.45	6.16	5.62	4.51	2.86	7.26	5.00	3.45	6.03	4.58	4.24	6.80	6.69	5.14
1334	829	3.19	3.50	4.06	4.83	6.37	2.17	4.05	5.32	2.58	3.89	4.11	1.71	1.83	2.94
1334	856	2.21	2.52	3.07	4.16	5.71	2.44	3.11	4.64	1.61	3.02	3.35	1.97	1.85	1.96
1334	916	1.19	0.86	0.52	1.61	3.17	2.10	0.55	2.10	0.97	0.86	1.19	2.60	2.49	0.61
1334	1334	7.00	7.24	7.56	8.05	8.33	6.69	7.93	8.71	7.60	8.32	8.48	6.61	6.73	8.30

Fonte: Autoria própria.

A criação das tabelas de veículos é o requisito final do procedimento de roteirização no *software* TransCAD. Nesta etapa são informadas as características e a localização dos veículos disponíveis para realização das viagens. No caso em estudo, conforme Seção 4.4, são considerados três tipos de veículos: ônibus Convencional, *Padron* e Especial (*Padron* articulado). A capacidade, em número de passageiros, e a quantidade de veículos disponíveis serão dados de entrada para criação das rotas e cálculos das distâncias percorridas pelos ônibus. Com vistas aos estudos de tarifação e análise de viabilidade econômico-financeira, neste estudo foram criados, inicialmente, três arquivos de veículos, conforme Tabela 10. A quantidade de veículos disponível foi determinada considerando a quantidade de funcionários que devem ter acesso ao serviço (292 passageiros) e a janela de coleta (das 07h30min às 08h00min).

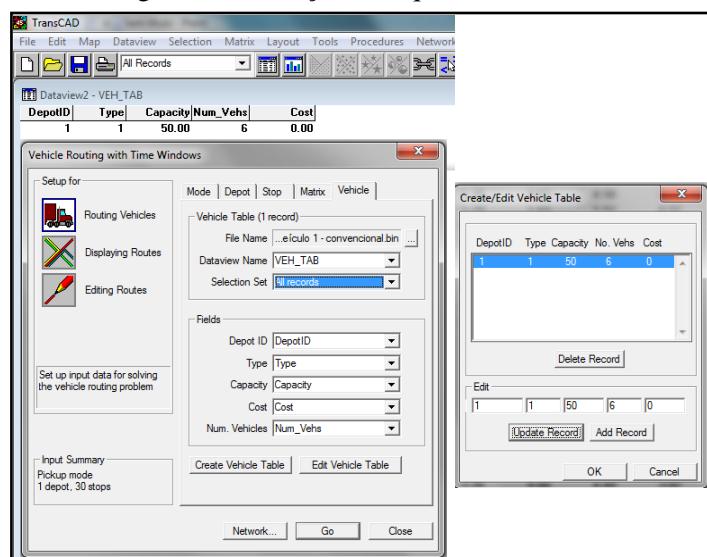
Tabela 10 – Arquivos de veículos

Arquivo	Veículo	Capacidade ofertada (passageiros)	Quantidade de veículos
Veículos 1	Convencional	50	6
Veículos 2	<i>Padron</i>	84	4
Veículos 3	Especial	115	3

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 17 é mostrado o procedimento de criação do arquivo de veículos “Veículos 1” no *software* TransCAD. As informações relativas aos custos serão tratadas em procedimentos específicos, e não foram informados nas tabelas de veículos.

Figura 17 – Criação do arquivo de veículos



Fonte: Autoria própria.

Com as informações completas, é possível concluir o procedimento de roteirização de veículos. Como resultado desta ação, o *software* TransCAD gera três saídas: o itinerário da frota, a tabela de roteamento, e a camada de visualização das rotas calculadas.

O itinerário da frota é um arquivo texto que contém, para cada trajeto, o tempo e a distância percorrida, a sequência de paradas, e os horários previstos para chegada e saída de cada ponto atendido pelo veículo. Na Figura 18 são mostrados os itinerários das rotas geradas pelo TransCAD, considerando o cenário de 30 paradas e utilizando seis veículos do tipo ônibus Convencional.

Figura 18 – Itinerário das rotas geradas para veículo tipo ônibus Convencional

Itinerary Report											
Route # : 1		Route # : 4									
Veh. Type: 1	Tot Time: 0:29	Capacity : 50.0	Veh. Type: 1	Tot Time: 0:25	Capacity : 50.0	Depart Load: 0.0					
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Pickup	Arrival-Depart	Dist					
	Sede da Empresa	7:20am			7:21am						
1	Ponto 5	7:30am- 7:30am	8919.9	1.0	1	Ponto 8					
2	Ponto 21	7:32am- 7:32am	897.3	8.0	2	Ponto 14					
3	Ponto 15	7:34am- 7:35am	1034.0	8.0	3	Ponto 30					
4	Ponto 24	7:35am- 7:36am	453.1	13.0	4	Ponto 23					
5	Ponto 19	7:37am- 7:37am	299.1	6.0	5	Ponto 7					
6	Ponto 10	7:39am- 7:40am	1308.3	9.0	6	Ponto 28					
7	Ponto 13	7:41am- 7:42am	1049.1	5.0	END	Sede da Empresa					
	END Sede da Empresa	7:49am	4911.6			7:47am					
	Total		18872.8	50.0		5064.5					
					Total	16080.0 47.0					
	Route # : 2	Tot Time: 0:24	Capacity : 50.0	Depart Load: 0.0	Route # : 5	Tot Time: 0:21					
	Veh. Type: 1	Tot Dist: 16105.7	Depart Load: 0.0	Veh. Type: 1	Tot Dist: 13424.1	Capacity : 50.0					
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Pickup	No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Pickup		
	Sede da Empresa	7:20am				Sede da Empresa	7:23am				
1	Ponto 29	7:30am- 7:31am	8276.5	14.0	1	Ponto 26	7:30am- 7:31am	5490.9	6.0		
2	Ponto 25	7:32am- 7:33am	992.8	16.0	2	Ponto 17	7:31am- 7:31am	76.3	3.0		
3	Ponto 3	7:34am- 7:35am	675.6	9.0	3	Ponto 27	7:33am- 7:34am	1347.6	25.0		
4	Ponto 20	7:35am- 7:36am	225.6	6.0	4	Ponto 11	7:36am- 7:37am	1034.8	16.0		
5	Ponto 6	7:36am- 7:37am	346.2	5.0	END	Sede da Empresa	7:45am	5474.3			
	END Sede da Empresa	7:45am	5588.8		Total			13424.1	50.0		
	Total		16105.7	50.0	Route # : 6	Tot Time: 0:22	Capacity : 50.0	Depart Load: 0.0	Veh. Type: 1	Tot Dist: 14863.4	
	Route # : 3	Tot Time: 0:22	Capacity : 50.0	Depart Load: 0.0	No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Pickup	Veh. Type: 1	Tot Dist: 14863.4
	Veh. Type: 1	Tot Dist: 14217.4	Depart Load: 0.0			Sede da Empresa	7:22am				
No.	Name	Arrival-Depart	Dist	Pickup							
	Sede da Empresa	7:21am			1	Ponto 4	7:30am- 7:31am	6676.6	11.0		
1	Ponto 16	7:30am- 7:31am	6801.5	9.0	2	Ponto 1	7:33am- 7:33am	1175.2	3.0		
2	Ponto 9	7:32am- 7:33am	761.9	17.0	3	Ponto 12	7:34am- 7:35am	549.1	29.0		
3	Ponto 22	7:33am- 7:34am	396.0	3.0	4	Ponto 18	7:37am- 7:37am	995.9	7.0		
4	Ponto 2	7:34am- 7:35am	207.5	16.0	END	Sede da Empresa	7:44am	5466.5			
	END Sede da Empresa	7:44am	6050.4		Total			14863.4	50.0		
	Total		14217.4	45.0							

Fonte: Autoria própria.

A tabela de roteamento é uma estrutura de dados que contém, para cada rota definida, o horário de chegada e saída nos pontos, o tempo de serviço, o tempo de viagem, a distância percorrida entre os pontos, a distância acumulada durante a viagem, a quantidade de embarque e o carregamento do veículo ao longo da trajetória.

Na Figura 19 é mostrada a tabela de roteamento gerada pelo *software* TransCAD para o veículo tipo ônibus Convencional. As distâncias estão expressas em metros, e os tempos em minutos.

Figura 19 – Tabela de roteamento para veículo tipo ônibus Convencional

Route	Type	Stop	Name	Node	Sequence	[Open Time]	[Due Time]	Arrival	Wait	[Service Time]	Departure	[Travel Time]	Distance	[Tot. Dist.]	Pickup	[Tot. Load]	[Stop Type]	StopLayID
1	1	1	Sede da Empresa	1334	0	600	800	--	--	0.4	730	9.7	8919.99	8919.99	1.000	1.00 Pickup	1	
1	1	5	Ponto 5	731	1	730	800	730	0.0	0.4	730	9.7	8919.99	8919.99	1.000	1.00 Pickup	2	
1	1	21	Ponto 21	677	2	730	800	732	0.0	0.7	732	1.3	897.37	9817.35	9.000	9.00 Pickup	3	
1	1	15	Ponto 15	708	3	730	800	734	0.0	0.7	735	1.6	1034.07	10851.43	8.000	17.00 Pickup	4	
1	1	24	Ponto 24	702	4	730	800	735	0.0	0.8	736	0.7	453.18	11304.61	13.000	30.00 Pickup	5	
1	1	19	Ponto 19	698	5	730	800	737	0.0	0.6	737	0.4	299.11	11603.72	6.000	36.00 Pickup	6	
1	1	10	Ponto 10	485	6	730	800	739	0.0	0.7	740	2.0	1308.31	12912.02	9.000	45.00 Pickup	7	
1	1	13	Ponto 13	329	7	730	800	741	0.0	0.6	742	1.6	1049.10	13961.13	5.000	50.00 Pickup	8	
1	1	1	Sede da Empresa	1334	8	600	800	749	--	--	721	7.2	4911.68	18872.81	--	50.00 Depot	9	
2	1	1	Sede da Empresa	1334	0	600	800	--	--	--	721	--	--	--	0.00	--	0.00 Depot	10
2	1	29	Ponto 29	504	1	730	800	730	0.0	0.9	731	9.3	8276.52	8276.52	14.000	14.00 Pickup	11	
2	1	25	Ponto 25	597	2	730	800	732	0.0	0.9	733	1.5	992.83	9269.35	16.000	30.00 Pickup	12	
2	1	3	Ponto 3	443	3	730	800	734	0.0	0.7	735	1.0	675.63	9944.97	9.000	39.00 Pickup	13	
2	1	20	Ponto 20	440	4	730	800	735	0.0	0.6	736	0.3	225.62	10170.59	6.000	45.00 Pickup	14	
2	1	6	Ponto 6	387	5	730	800	736	0.0	0.6	737	0.5	346.26	10516.85	5.000	50.00 Pickup	15	
2	1	1	Sede da Empresa	1334	6	600	800	745	--	--	721	7.9	5588.82	16105.67	--	50.00 Depot	16	
3	1	1	Sede da Empresa	1334	0	600	800	--	--	--	721	--	--	--	0.00	--	0.00 Depot	17
3	1	16	Ponto 16	856	1	730	800	730	0.0	0.7	731	8.6	6801.52	6801.52	9.000	9.00 Pickup	18	
3	1	9	Ponto 9	634	2	730	800	732	0.0	1.0	733	1.1	761.91	7563.43	17.000	26.00 Pickup	19	
3	1	22	Ponto 22	588	3	730	800	733	0.0	0.5	734	0.6	396.05	7959.48	3.000	29.00 Pickup	20	
3	1	2	Ponto 2	538	4	730	800	734	0.0	0.9	735	0.3	207.52	8167.00	16.000	45.00 Pickup	21	
3	1	1	Sede da Empresa	1334	5	600	800	744	--	--	721	8.7	6050.44	14217.44	--	45.00 Depot	22	
4	1	1	Sede da Empresa	1334	0	600	800	--	--	--	722	--	--	--	0.00	--	0.00 Depot	23
4	1	8	Ponto 8	361	1	730	800	730	0.0	0.6	731	8.3	7532.17	7532.17	5.000	5.00 Pickup	24	
4	1	14	Ponto 14	512	2	730	800	732	0.0	0.7	732	1.0	672.43	8204.60	9.000	14.00 Pickup	25	
4	1	30	Ponto 30	401	3	730	800	734	0.0	0.8	735	1.5	992.14	9196.74	11.000	25.00 Pickup	26	
4	1	23	Ponto 23	347	4	730	800	736	0.0	0.8	736	1.1	707.89	9904.62	11.000	36.00 Pickup	27	
4	1	7	Ponto 7	337	5	730	800	737	0.0	0.5	738	1.1	738.92	10643.54	2.000	38.00 Pickup	28	
4	1	28	Ponto 28	332	6	730	800	738	0.0	0.7	739	0.6	371.92	11015.46	9.000	47.00 Pickup	29	
4	1	1	Sede da Empresa	1334	7	600	800	747	--	--	722	7.4	5064.52	16079.98	--	47.00 Depot	30	
5	1	1	Sede da Empresa	1334	0	600	800	--	--	--	723	--	--	--	0.00	--	0.00 Depot	31
5	1	26	Ponto 26	467	1	730	800	730	0.0	0.6	731	6.6	5490.94	5490.94	6.000	6.00 Pickup	32	
5	1	17	Ponto 17	468	2	730	800	731	0.0	0.5	731	0.1	76.30	5567.24	3.000	9.00 Pickup	33	
5	1	27	Ponto 27	583	3	730	800	733	0.0	1.2	734	2.0	1347.67	6914.91	25.000	34.00 Pickup	34	
5	1	11	Ponto 11	916	4	730	800	736	0.0	0.9	737	1.6	1034.83	7949.74	16.000	50.00 Pickup	35	
5	1	1	Sede da Empresa	1334	5	600	800	745	--	--	722	7.9	5474.36	13424.09	--	50.00 Depot	36	
6	1	1	Sede da Empresa	1334	0	600	800	--	--	--	722	--	--	--	0.00	--	0.00 Depot	37
6	1	4	Ponto 4	829	1	730	800	730	0.0	0.8	731	8.0	6676.61	6676.61	11.000	11.00 Pickup	38	
6	1	1	Ponto 1	528	2	730	800	733	0.0	0.5	733	1.8	1175.23	7815.83	3.000	14.00 Pickup	39	
6	1	12	Ponto 12	427	3	730	800	734	0.0	1.4	735	0.8	549.13	8400.97	29.000	43.00 Pickup	40	
6	1	18	Ponto 18	366	4	730	800	737	0.0	0.6	737	1.5	995.92	9396.88	7.000	50.00 Pickup	41	
6	1	1	Sede da Empresa	1334	5	600	800	744	--	--	721	7.1	5466.52	14863.40	--	50.00 Depot	42	

Fonte: Autoria própria.

A partir desta base de dados é possível compilar as distâncias totais percorridas pelos veículos durante o ciclo da operação, bem como a sua taxa de ocupação e o índice de passageiro por quilômetro (IPK), sendo que na geração das rotas o *software* TransCAD foi configurado para minimizar o tempo de viagem entre os pontos. O IPK é calculado em cada rota, dividindo a quantidade de passageiros embarcados pela distância percorrida pelo veículo. Na Tabela 11 são apresentadas informações das rotas, com uso de ônibus tipo Convencional.

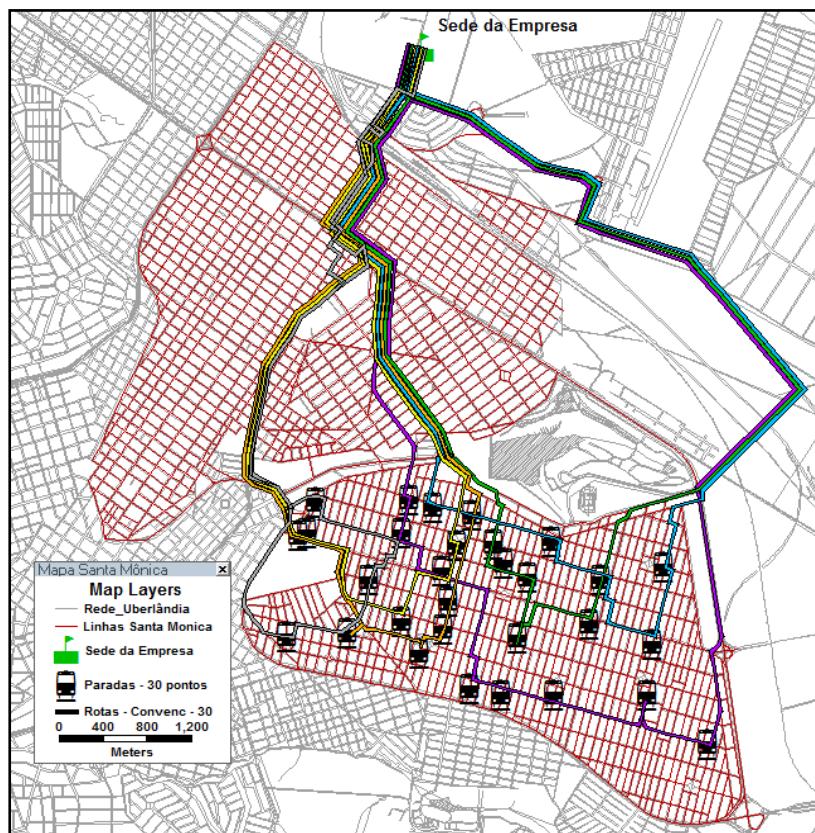
Tabela 11 – Distâncias percorridas e IPK com uso de ônibus convencionais

Rota	Veículo	Capacidade ofertada	Capacidade utilizada	Distância total percorrida (km)	IPK (pass./km)
Rota 1	Convencional	50	50	18,9	2,6
Rota 2	Convencional	50	50	16,1	3,1
Rota 3	Convencional	50	45	14,2	3,2
Rota 4	Convencional	50	47	16,1	2,9
Rota 5	Convencional	50	50	13,4	3,7
Rota 6	Convencional	50	50	14,9	3,4
Total		300	292	93,6	3,1 (média)

Fonte: Autoria própria.

Analisando estes dados, é possível observar que o IPK deste sistema é consideravelmente maior que o IPK médio nacional e o IPK médio da cidade de Uberlândia, ambos em torno de 1,9pass/km. No serviço de coleta dos 292 funcionários, os seis veículos percorreram uma distância total de 93,6km, consolidando um IPK médio ponderado pela distância percorrida de 3,1pass/km. Com as informações geradas pelo roteamento foi criado no software TransCAD uma camada de visualização das rotas. Na Figura 20 são mostradas as seis rotas definidas para o cenário em estudo utilizando ônibus Convencional.

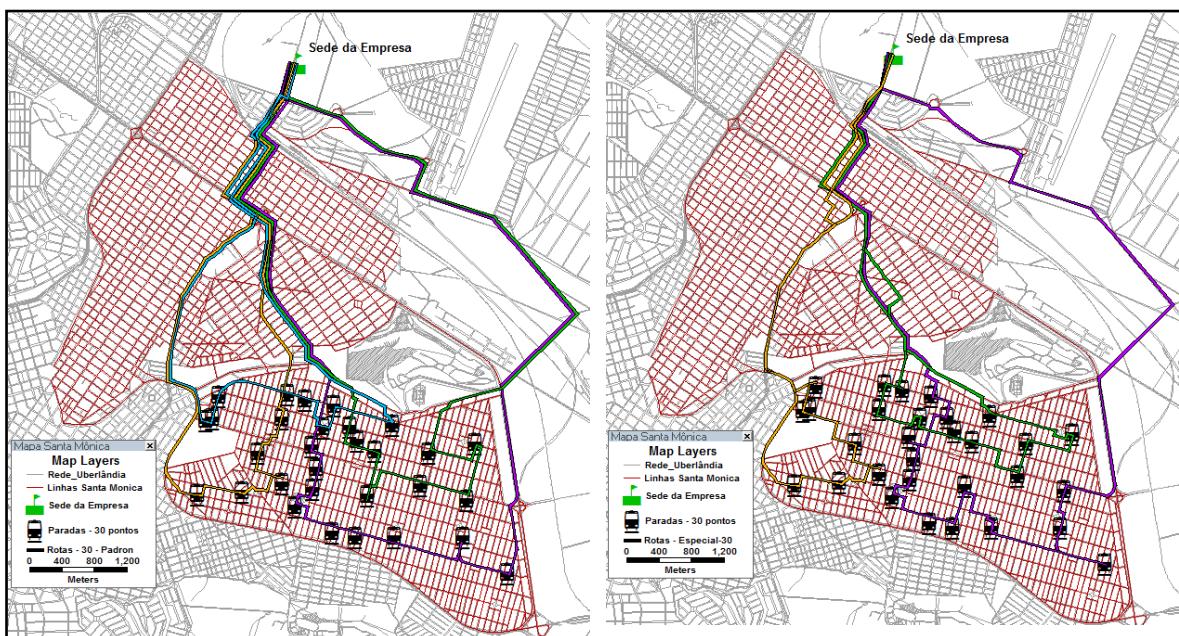
Figura 20 – Visualização das rotas calculadas – 30 paradas e ônibus convencionais



Fonte: Autoria própria.

Os procedimentos de roteirização executados até o momento nesta Seção utilizaram como veículo os ônibus Convencionais. Estes mesmos procedimentos foram refeitos para simular os cenários de uso de veículos tipo *Padron* e Especial, sendo em cada caso geradas as rotas, itinerários, tabela de roteamento, distâncias percorridas e IPK. Na Figura 21 são mostradas as rotas calculadas pelo *software* TransCAD para os casos de uso de ônibus *Padron* e Especial.

Figura 21 – Visualização das rotas calculadas – 30 paradas e ônibus *Padron* (à esquerda) e ônibus Especial (à direita)



Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 12 são mostradas as capacidades ofertadas e utilizadas, a distância percorrida e o IPK de cada uma das rotas calculadas pelo *software* TransCAD para o uso de ônibus *Padron* (4 veículos) e Especial (3 veículos). É possível verificar que os ônibus com maiores capacidades ofertadas possuem rotas com menores extensões, e consequentemente, maiores IPK. As rotas com ônibus tipo *Padron* têm distância total 65,7km e as rotas com ônibus tipo Especial somam 52,7km, 30% e 44% menores que as rotas com ônibus convencionais (93,6km), respectivamente.

Tabela 12 – Distâncias percorridas e IPK com uso de ônibus *Padron* e *Especial*

Veículo	Rota	Capacidade ofertada	Capacidade utilizada	Distância total percorrida (km)	IPK (pass./km)
<i>Padron</i>	Rota 1	84	81	19,0	4,3
	Rota 2	84	75	17,7	4,2
	Rota 3	84	77	14,5	5,3
	Rota 4	84	59	14,6	4,0
Total		336	292	65,7	4,5 (média)
<i>Especial</i>	Rota 1	115	113	21,2	5,3
	Rota 2	115	115	16,0	7,2
	Rota 3	115	64	15,5	4,1
	Total	345	292	52,7	5,5 (media)

Fonte: Autoria própria.

Ao observar a Tabela 12 nota-se o veículo da última rota apresenta uma capacidade utilizada menor que os demais. Isso se deve ao fato de que o *software* TransCAD, ao realizar uma rotina, roteiriza, individual e sequencialmente, a rota e a carga de cada veículo, colocando em cada um a quantidade máxima possível de passageiros, chegando próximo ou atingindo o limite de assentos ofertados. Esse procedimento, em tese, aumenta a eficiência do sistema de transporte, no entanto, pode gerar carregamentos não uniformes dentro da frota.

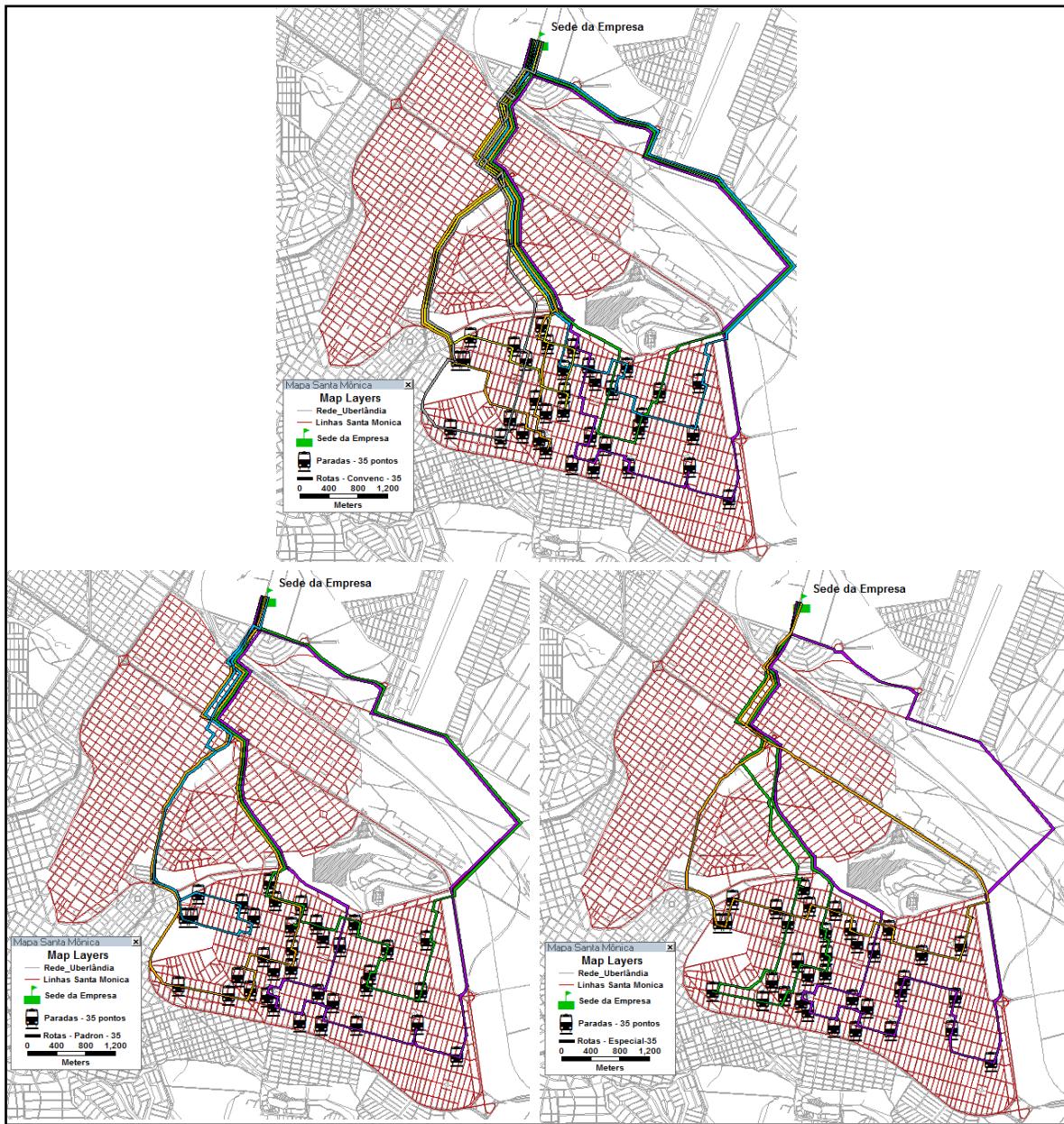
Nesta Seção foram realizadas as simulações para o cenário em que a demanda (292 funcionários) foi agrupada em 30 *clusters*, configurando então a rede de transporte com 30 pontos de embarque e desembarque ao longo do Bairro Santa Mônica. Nas Seções 4.5.2 e 4.5.3 serão modelados os cenários com 35 e 40 paradas, que reduzem a distância média de caminhada dos passageiros.

4.5.2 Roteirização Para Rede com 35 Paradas

Todos os procedimentos citados na Seção 4.5.1 foram integralmente repetidos para os cenários de rede com 35 locais de embarque e desembarque. Foi criado o arquivo geográfico tipo ponto, correspondente aposicionamento dos 35 locais. Em seguida foi gerada a matriz de roteirização com otimização do tempo de viagem, indicando as distâncias e tempos de deslocamento entre a sede da empresa e os pontos de coleta dos passageiros. Na sequência foi calculada a tabela de roteamento, uma para cada tipo de

veículo (Convencional, *Padron* e Especial) e os respectivos itinerários. Com base nestas informações foram compiladas as distâncias das rotas e o IPK. Na Figura 22 são mostradas as rotas geradas pelo *software* TransCAD contemplando os três tipos de veículos.

Figura 22 – Visualização das rotas calculadas – 35 paradas e ônibus Convencional (superior), *Padron* (inferior esquerda) e ônibus Especial (inferior direita)



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 23 são mostradas as tabelas de roteamento para os três tipos de veículo.

Figura 23 – Tabelas de roteamento – 35 paradas

DataView14 - VRPTW_RT																			
Route	Veh. Type	Stop	Name	Node	Sequence	[Open Time]	[Due Time]	Arrival	Wait	[Service Time]	Departure	[Travel Time]	Distance	[Tot. Dist.]	Pickup	[Tot. Load]	[Stop Type]	Stop LayID	
1	1	1	Sede da Empresa	1334	0	600	800	--	--	720	--	--	0.00	--	0.00	Depot	1		
1	1	1	7 Ponto 7	731	1	730	800	730	0.0	0.4	730	9.7	8919.99	8919.99	1.000	1.00 Pickup	2		
1	1	26	Ponto 26	677	2	730	800	732	0.0	0.7	732	1.3	897.37	9817.35	8.000	9.00 Pickup	3		
1	1	20	Ponto 20	708	3	730	800	734	0.0	0.6	735	1.6	1034.07	10851.43	6.000	15.00 Pickup	4		
1	1	27	Ponto 27	650	4	730	800	735	0.0	0.5	736	0.8	564.47	11415.90	3.000	18.00 Pickup	5		
1	1	29	Ponto 29	702	5	730	800	736	0.0	0.8	737	0.4	264.05	11679.96	11.000	29.00 Pickup	6		
1	1	24	Ponto 24	698	6	730	800	738	0.0	0.6	738	0.4	299.11	11937.07	6.000	35.00 Pickup	7		
1	1	25	Ponto 25	645	7	730	800	738	0.0	0.6	739	0.3	195.36	12174.42	6.000	41.00 Pickup	8		
1	1	31	Ponto 31	595	8	730	800	740	0.0	0.6	740	0.5	349.77	12524.19	7.000	48.00 Pickup	9		
1	1	11	Ponto 11	337	9	730	800	742	0.0	0.5	743	2.3	1516.29	14040.49	2.000	50.00 Pickup	10		
1	1	1	Sede da Empresa	1334	10	600	800	750	--	--	--	7.5	5242.63	19283.12	--	50.00 Depot	11		
2	File	Edit	Map	DataView	Selection	Matrix	Layout	Tools	Procedures	Networks/Paths	Route Systems	Planning	Transit	Routing/Logistics	Window	Help			
2	2	2	1	Sede da Empresa	1334	0	600	800	--	--	720	--	--	0.00	--	0.00	Depot	1	
2	1	2	7 Ponto 7	731	1	730	800	730	0.0	0.4	730	9.7	8919.99	8919.99	1.000	1.00 Pickup	2		
3	1	2	26 Ponto 26	677	2	730	800	732	0.0	0.7	732	1.3	897.37	9817.35	8.000	9.00 Pickup	3		
3	1	2	20 Ponto 20	708	3	730	800	734	0.0	0.6	735	1.6	1034.07	10851.43	6.000	15.00 Pickup	4		
3	1	2	29 Ponto 29	702	4	730	800	735	0.0	0.8	736	0.7	454.18	11304.61	11.000	26.00 Pickup	5		
3	1	2	27 Ponto 27	650	5	730	800	736	0.0	0.5	737	0.4	264.05	11568.66	3.000	29.00 Pickup	6		
3	1	2	25 Ponto 25	645	6	730	800	737	0.0	0.6	738	0.6	371.40	11940.06	6.000	35.00 Pickup	7		
3	1	2	24 Ponto 24	698	7	730	800	738	0.0	0.6	739	0.3	195.36	12135.42	6.000	41.00 Pickup	8		
3	1	2	6 Ponto 6	693	8	730	800	739	0.0	0.8	740	0.6	369.13	12504.56	12.000	53.00 Pickup	9		
3	1	2	14 Ponto 14	634	9	730	800	741	0.0	0.5	741	0.4	294.17	12798.73	4.000	57.00 Pickup	10		
3	1	2	31 Ponto 31	595	10	730	800	743	0.0	0.6	743	1.4	314.06	13712.79	7.000	64.00 Pickup	11		
4	File	Edit	Map	DataView	Selection	Matrix	Layout	Tools	Procedures	Networks/Paths	Route Systems	Planning	Transit	Routing/Logistics	Window	Help			
4	1	2	1	Sede da Empresa	1334	0	600	800	--	--	720	--	--	0.00	--	0.00	Depot	1	
4	2	1	3	7 Ponto 7	731	1	730	800	730	0.0	0.4	730	9.7	8919.99	8919.99	1.000	1.00 Pickup	2	
4	2	1	3	26 Ponto 26	677	2	730	800	732	0.0	0.7	732	1.3	897.37	9817.35	8.000	9.00 Pickup	3	
4	2	1	3	19 Ponto 19	512	3	730	800	733	0.0	0.7	734	1.0	644.79	10462.15	9.000	18.00 Pickup	4	
5	2	1	3	21 Ponto 21	502	4	730	800	735	0.0	0.7	736	1.1	734.88	11197.03	10.000	28.00 Pickup	5	
5	2	1	3	2 Ponto 2	553	5	730	800	736	0.0	0.8	737	0.3	207.29	11404.32	13.000	41.00 Pickup	6	
5	2	1	3	20 Ponto 20	708	6	730	800	738	0.0	0.6	739	1.1	735.24	12139.57	6.000	47.00 Pickup	7	
5	2	1	3	29 Ponto 29	702	7	730	800	739	0.0	0.8	740	0.7	453.18	12592.74	11.000	58.00 Pickup	8	
5	2	1	3	27 Ponto 27	650	8	730	800	741	0.0	0.5	741	0.4	264.05	12856.80	3.000	61.00 Pickup	9	
5	2	1	3	25 Ponto 25	645	9	730	800	742	0.0	0.6	742	0.6	371.40	13228.20	6.000	67.00 Pickup	10	
5	2	1	3	24 Ponto 24	698	10	730	800	743	0.0	0.6	743	0.3	195.36	13423.56	6.000	73.00 Pickup	11	
5	2	1	3	6 Ponto 6	693	11	730	800	744	0.0	0.8	744	0.6	369.13	13792.69	12.000	85.00 Pickup	12	
6	3	1	3	14 Ponto 14	634	12	730	800	745	0.0	0.5	745	0.4	294.17	14098.87	4.000	93.00 Pickup	13	
6	3	1	3	31 Ponto 31	595	13	730	800	747	0.0	0.6	747	1.4	914.06	15000.92	7.000	96.00 Pickup	14	
6	3	1	3	15 Ponto 15	596	14	730	800	748	0.0	0.7	748	0.1	71.41	16072.34	9.000	105.00 Pickup	15	
6	3	1	3	3 Ponto 3	443	15	730	800	749	0.0	0.7	750	0.9	607.62	16579.95	9.000	114.00 Pickup	16	
6	3	1	3	1 Sede da Empresa	1334	16	600	800	758	--	--	723	--	--	0.00	--	0.00	Depot	17
3	2	3	3	1 Sede da Empresa	1334	0	600	800	--	--	723	--	--	0.00	--	0.00	Depot	18	
3	2	3	3	10 Ponto 10	246	1	730	800	730	0.0	0.5	730	6.9	4897.54	4897.54	2.000	2.00 Pickup	19	
3	2	3	3	18 Ponto 18	427	2	730	800	731	0.0	1.3	733	1.0	668.36	5565.90	26.000	28.00 Pickup	20	
3	2	3	3	17 Ponto 17	580	3	730	800	734	0.0	0.8	734	0.9	611.44	6177.34	11.000	39.00 Pickup	21	
3	2	3	3	4 Ponto 4	829	4	730	800	736	0.0	0.8	737	1.7	1121.03	7298.37	11.000	50.00 Pickup	22	
4	2	3	3	5 Ponto 5	837	5	730	800	738	0.0	0.6	738	1.0	681.21	7379.59	6.000	56.00 Pickup	23	
4	2	3	3	33 Ponto 33	630	6	730	800	739	0.0	0.6	740	0.8	520.30	8499.88	7.000	63.00 Pickup	24	
4	2	3	3	1 Ponto 1	534	7	730	800	741	0.0	0.7	741	0.7	465.30	8566.19	10.000	73.00 Pickup	25	
4	2	3	3	32 Ponto 32	539	8	730	800	742	0.0	0.9	743	0.6	371.72	9337.91	16.000	89.00 Pickup	26	
4	2	3	3	13 Ponto 13	487	9	730	800	743	0.0	0.8	744	0.4	274.10	9612.01	12.000	101.00 Pickup	27	
4	2	3	3	16 Ponto 16	916	10	730	800	745	0.0	0.8	745	0.6	407.48	10019.49	11.000	112.00 Pickup	28	
4	2	3	3	1 Sede da Empresa	1334	11	600	800	753	--	--	723	7.9	5474.36	15493.85	--	112.00 Depot	29	
3	3	3	3	1 Sede da Empresa	1334	0	600	800	--	--	723	--	--	0.00	--	0.00	Depot	30	
3	3	3	30 Ponto 30	467	1	730	800	730	0.0	0.6	731	6.6	5490.94	5490.94	6.000	6.00 Pickup	31		
3	3	3	22 Ponto 22	468	2	730	800	731	0.0	0.5	731	0.1	76.30	5567.24	3.000	9.00 Pickup	32		
3	3	3	23 Ponto 23	366	3	730	800	732	0.0	0.6	732	0.6	403.03	5970.26	7.000	16.00 Pickup	33		
3	3	3	8 Ponto 8	374	4	730	800	733	0.0	0.6	734	0.9	589.86	6560.12	5.000	21.00 Pickup	34		
3	3	3	34 Ponto 34	332	5	730	800	735	0.0	0.7	736	1.0	635.45	7195.57	10.000	31.00 Pickup	35		
3	3	3	11 Ponto 11	337	6	730	800	736	0.0	0.5	737	0.6	371.92	7567.48	2.000	33.00 Pickup	36		
3	3	3	9 Ponto 9	387	7	730	800	737	0.0	0.6	738	0.6	418.41	7985.90	5.000	38.00 Pickup	37		
3	3	3	28 Ponto 28	347	8	730	800	739	0.0	0.8	740	1.1	708.18	8694.07	11.000	49.00 Pickup	38		
3	3	3	35 Ponto 35	401	9	730	800	741	0.0	0.8	741	1.1	707.09	9401.96	12.000	61.00 Pickup	39		
3	3	3	12 Ponto 12	361	10	730	800	742	0.0	0.6	743	1.1	712.13	10114.09	5.000	66.00 Pickup	40		
3	3	3	1 Sede da Empresa	1334	11	600	800	752	--	--	723	8.7	7042.21	17156.29	--	66.00 Depot	41		

Fonte: Autoria própria.

Tabela 13 – Distâncias percorridas e IPK na rede com 35 pontos de parada

Veículo

Tabela 13 – Distâncias percorridas e IPK na rede com 35 pontos de parada(continuação)

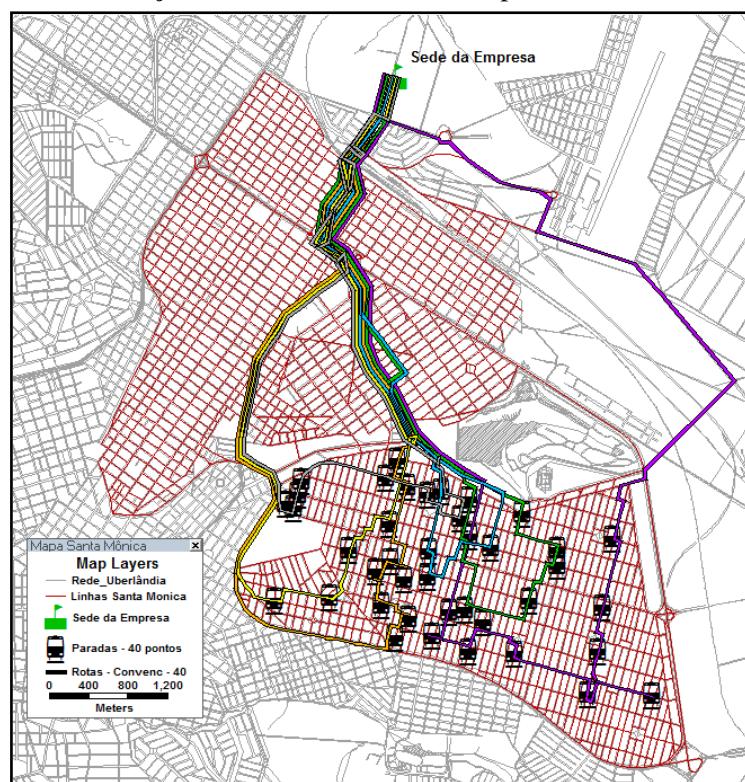
Veículo	Rota	Capacidade ofertada	Capacidade utilizada	Distância total percorrida (km)	IPK (pass./km)
Padron	Rota 1	84	82	20,5	4,0
	Rota 2	84	80	17,6	4,6
	Rota 3	84	83	15,5	5,4
	Rota 4	84	47	13,0	3,6
Total		336	292	66,6	4,4 (media)
Especial	Rota 1	115	114	21,8	5,2
	Rota 2	115	112	15,5	7,2
	Rota 3	115	66	17,2	3,8
	Total	345	292	54,4	5,4 (media)

Fonte: Autoria própria.

4.5.3 Roteirização Para Rede com 40 Paradas

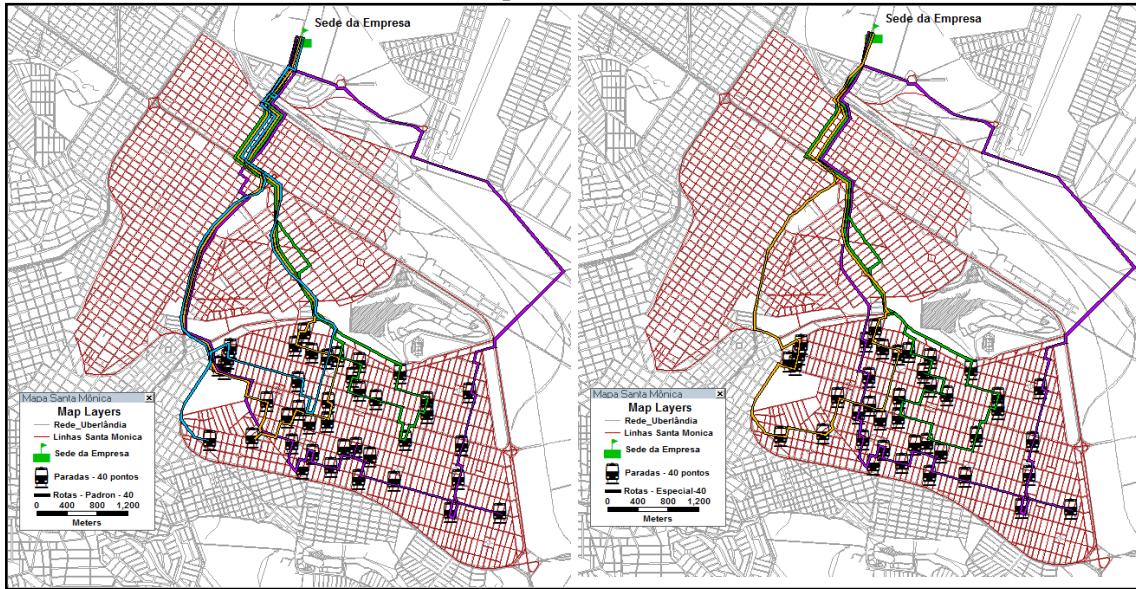
Da mesma forma citada nas Seções 4.5.1 e 4.5.2 foram realizadas as simulações de roteamento na rede, considerando o cenário com agrupamento de 40 pontos de embarque e desembarque, e a utilização dos três tipos de veículos. Na Figura 24 são mostradas as rotas geradas pelo *software* TransCAD na operação de coleta dos funcionários.

Figura 24 – Visualização das rotas calculadas – 40 paradas e ônibus Convencional



Fonte: Autoria própria.

Figura 25 – Visualização das rotas calculadas – 40 paradas e ônibus Padron (esquerda) e ônibus Especial (direita)



Fonte: Autoria própria.

As tabelas de roteamento para os três tipos de veículo são mostradas na Figura 26.

Figura 26 – Tabelas de roteamento – 40 paradas

Route	Veh. type	Stop Name	Node	Sequence	[Open Time]	[Due Time]	Arrival	Wait	[Service Time]	Departure	[Travel Time]	Distance	[Tot. Dist.]	Pickup	[Tot. Load]	[Stop Type]	StopLayID
1	1	1 Sede da Empresa	0	600			722		0.0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Depot	1
1	1	14 Ponto 14	361	1	730	800	730	0.0	0.6	730	8.3	7532.17	7532.17	5.000	5.00 Pickup		2
1	1	20 Ponto 20	512	2	730	800	732	0.0	0.7	732	1.0	672.43	8204.60	9.000	14.00 Pickup		3
1	1	30 Ponto 30	677	3	730	800	733	0.0	0.6	724	1.0	644.79	8849.39	6.000	20.00 Pickup		4
1	1	9 Ponto 9	721	4	730	800	725	0.0	0.4	726	1.3	997.37	9746.76	1.000	21.00 Pickup		5
1	1	29 Ponto 29	750	5	730	800	737	0.0	0.5	737	1.3	870.69	10617.45	2.000	23.00 Pickup		6
2	1	2 1 Sede da Empresa	1334	0	600	800	722		0.0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Depot	1
1	1	2 14 Ponto 14	361	1	730	800	730	0.0	0.6	731	8.3	7532.17	7532.17	5.000	5.00 Pickup		2
2	1	2 20 Ponto 20	512	2	730	800	732	0.0	0.7	732	1.0	672.43	8204.60	9.000	14.00 Pickup		3
2	1	2 30 Ponto 30	677	3	730	800	733	0.0	0.6	734	1.0	644.79	8849.39	6.000	20.00 Pickup		4
2	1	2 8 Ponto 8	731	4	730	800	735	0.0	0.4	736	1.3	897.37	9746.76	1.000	21.00 Pickup		5
2	1	2 29 Ponto 29	750	5	730	800	737	0.0	0.5	737	1.3	870.69	10617.45	2.000	23.00 Pickup		6
2	1	2 21 Ponto 21	708	6	730	800	739	0.0	0.6	739	1.5	1008.05	11625.50	6.000	29.00 Pickup		7
3	1	2 33 Ponto 33	702	7	730	800	740	0.0	0.8	741	0.7	453.18	12078.60	11.000	40.00 Pickup		8
3	2	1 32 Ponto 32	650	8	730	800	741	0.0	0.5	742	0.4	264.05	12342.74	3.000	43.00 Pickup		9
4	2	1 26 Ponto 26	645	9	730	800	742	0.0	0.5	743	0.6	371.40	12714.14	3.000	46.00 Pickup		10
4	2	1 7 Ponto 7	696	10	730	800	743	0.0	0.5	744	0.5	339.52	13053.60	3.000	49.00 Pickup		11
4	2	1 31 Ponto 31	636	11	730	800	744	0.0	0.8	745	0.6	368.70	13422.30	12.000	61.00 Pickup		12
4	2	1 18 Ponto 18	894	12	730	800	746	0.0	0.5	746	0.4	455.51	13877.87	3.000	64.00 Pickup		13
4	2	1 28 Ponto 28	631	13	730	800	747	0.0	0.6	748	0.7	445.66	14323.53	6.000	70.00 Pickup		14
4	2	1 35 Ponto 35	502	14	730	800	748	0.0	0.7	749	0.5	334.08	14567.61	8.000	78.00 Pickup		15
5	2	1 36 Ponto 36	425	15	730	800	750	0.0	1.2	751	0.9	612.65	15270.60	23.000	101.00 Pickup		16
5	2	1 19 Ponto 19	220	16	730	800	752	0.0	0.6	752	0.4	271.10	1581.40	6.000	107.00 Pickup		17
5	2	1 1 Sede da Empresa	1334	17	600	800	759	—	—	72	7.2	4911.68	20733.98	—	107.00 Depot		18
5	3	2 1 Sede da Empresa	1334	0	600	800	722		—	722	—	—	—	0.00	0.00	Depot	19
5	3	2 13 Ponto 13	348	1	730	800	730	0.0	0.6	731	8.0	5971.29	5971.29	6.000	6.00 Pickup		20
5	3	2 40 Ponto 40	401	2	730	800	732	0.0	0.9	732	1.0	642.73	6514.01	11.000	17.00 Pickup		21
6	3	2 5 Ponto 5	452	3	730	800	733	0.0	0.5	733	0.3	205.32	6819.33	3.000	20.00 Pickup		22
6	3	2 3 Ponto 3	553	4	730	800	734	0.0	0.6	735	0.8	551.07	7370.41	21.000	41.00 Pickup		23
6	3	2 37 Ponto 37	595	5	730	800	736	0.0	0.6	737	1.2	791.30	8161.71	7.000	48.00 Pickup		24
6	3	2 38 Ponto 38	539	6	730	800	738	0.0	0.9	739	1.0	645.89	8807.60	16.000	64.00 Pickup		25
6	3	2 15 Ponto 15	487	7	730	800	739	0.0	0.9	740	0.4	274.10	9081.70	14.000	78.00 Pickup		26
6	3	2 27 Ponto 27	440	8	730	800	741	0.0	0.6	741	0.8	563.82	9645.51	6.000	84.00 Pickup		27
6	3	2 4 Ponto 4	443	9	730	800	742	0.0	0.8	743	0.3	225.62	9871.13	13.000	97.00 Pickup		28
6	3	2 9 Ponto 9	387	10	730	800	743	0.0	0.5	744	0.9	570.67	10441.81	4.000	101.00 Pickup		29
6	3	2 12 Ponto 12	341	11	730	800	744	0.0	0.5	745	0.4	271.63	10713.44	2.000	103.00 Pickup		30
4	2	3 11 Ponto 11	337	12	730	800	745	0.0	0.5	746	0.4	296.08	11009.52	2.000	105.00 Pickup		31
4	2	3 1 Sede da Empresa	1334	13	600	800	753	—	—	75	7.5	5242.63	16252.15	—	105.00 Depot		32
4	3	3 1 Sede da Empresa	1334	0	600	800	723		—	723	—	—	—	0.00	0.00	Depot	33
4	3	3 25 Ponto 25	366	1	730	800	730	0.0	0.6	731	6.7	5499.55	5499.55	5.000	5.00 Pickup		34
4	3	3 24 Ponto 24	416	2	730	800	731	0.0	0.6	731	0.3	195.64	5659.19	5.000	10.00 Pickup		35
4	3	3 23 Ponto 23	463	3	730	800	732	0.0	0.5	732	0.3	204.39	5708.87	13.000	12.00 Pickup		36
4	3	3 34 Ponto 34	467	4	730	800	733	0.0	0.6	733	0.6	70.22	5978.87	5.000	18.00 Pickup		37
4	3	3 6 Ponto 6	826	5	730	800	735	0.0	0.6	735	1.7	1399.20	7370.08	11.000	29.00 Pickup		38
3	3	3 22 Ponto 22	856	6	730	800	736	0.0	0.7	737	1.1	706.22	8804.29	9.000	38.00 Pickup		39
3	3	3 1 Ponto 1	528	7	730	800	738	0.0	0.6	739	0.8	553.95	8528.24	7.000	45.00 Pickup		40
3	3	3 2 Ponto 2	534	8	730	800	739	0.0	0.7	740	0.7	441.77	9080.01	9.000	54.00 Pickup		41
3	3	3 16 Ponto 16	536	9	730	800	740	0.0	0.7	741	0.2	149.49	9229.49	9.000	63.00 Pickup		42
3	3	3 17 Ponto 17	913	10	730	800	742	0.0	0.6	742	1.0	686.57	9916.60	6.000	69.00 Pickup		43
3	3	3 39 Ponto 39	332	11	730	800	743	0.0	0.7	744	0.4	349.32	10264.43	9.000	78.00 Pickup		44

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 14 são mostrados os dados referentes a distâncias, capacidades e IPK das rotas determinadas pelo *software* TransCAD. Neste cenário, com rede que possui 40 pontos de embarque e desembarque, os funcionários caminham, em média, 146 metros até o local de acesso ao serviço de transporte coletivo.

Tabela 14 – Distâncias percorridas e IPK na rede com 40 pontos parada

Veículo	Rota	Capacidade ofertada	Capacidade utilizada	Distância total percorrida (km)	IPK (pass./km)
Convencional	Rota 1	50	49	20,0	2,5
	Rota 2	50	50	14,8	3,4
	Rota 3	50	49	16,1	3,1
	Rota 4	50	49	13,2	3,7
	Rota 5	50	50	14,0	3,6
	Rota 6	50	45	13,6	3,3
Total		300	292	91,7	3,2 (média)
Padron	Rota 1	84	82	21,8	3,8
	Rota 2	84	68	14,7	4,6
	Rota 3	84	83	14,9	5,6
	Rota 4	84	59	16,2	3,6
Total		336	292	67,6	4,3 (media)
Especial	Rota 1	115	107	20,7	5,2
	Rota 2	115	105	16,3	6,5
	Rota 3	115	80	15,4	5,2
Total		345	292	52,4	5,6 (media)

Fonte: Autoria própria.

4.5.4 Consolidação dos Cenários

Nas seções anteriores foram realizadas as simulações de roteirização para os cenários com 30, 35 e 40 pontos de embarque e desembarque, para cada tipo de ônibus (Convencional, *Padron* e Especial). Com base nas distâncias das rotas calculadas pelo *software* TransCAD foi determinada a quilometragem diária percorrida pelos veículos, que corresponde exatamente a duas viagens: a de coleta dos funcionários (antes do início do turno) e a de retorno (ao final do turno). Considerando que as rotas das viagens de ida e de retorno possuem praticamente as mesmas distâncias, a quilometragem diária percorrida pela frota equivale ao dobro daquela calculada na viagem de coleta dos funcionários. A Tabela 15 contém as informações sumarizadas dos três cenários, incluindo a distância média de caminhada que o passageiro deve fazer para ter acesso ao serviço de transporte.

Tabela 15 – Distâncias das rotas e quilometragem diária

Quantidade de pontos de embarque	Distância média de caminhada (m)	Tipo de veículo	Frota (veículos)	Distância total das rotas (km)	IPK (pass/km)	Quilometragem diária da frota (km)
30	173,2	Convencional	6	93,6	3,1	187,1
		<i>Padron</i>	4	65,7	4,4	131,5
		Especial	3	52,7	5,5	105,4
35	158,3	Convencional	6	94,7	3,1	189,3
		<i>Padron</i>	4	66,6	4,4	133,2
		Especial	3	54,4	5,4	108,9
40	146,1	Convencional	6	91,7	3,2	183,5
		<i>Padron</i>	4	67,6	4,3	135,1
		Especial	3	52,4	5,6	104,9

Fonte: Autoria própria.

Com base nos dados compilados da tabela anterior é possível observar que quando se aumenta a quantidade de pontos de embarque e desembarque de 30 para 35, a distância média de caminhada dos passageiros é reduzida em 9%, enquanto a extensão das rotas dos ônibus Convencional, *Padron* e Especial aumenta 1%, 1% e 3% respectivamente. Ao se passar de 35 para 40 pontos de paradas dos ônibus, a distância média de caminhada diminui 7% e a distância das rotas dos ônibus tipo Convencional e Especial reduz em 3% cada, enquanto a extensão da rota dos ônibus tipo *Padron* aumenta em 1%.

4.6 Tarifação

Os procedimentos de tarifação são extremamente importantes para a avaliação econômico-financeira deste projeto, pois apontam os custos fixos e variáveis da operação proposta, permitindo a geração de indicadores de análise de investimentos. Para a execução desta fase do trabalho foi utilizada a metodologia de tarifação do GEIPOT (Grupo Executivo de Integração das Políticas de Transporte). Embora este órgão governamental tenha entrado em processo de liquidação no ano de 2002, com a reestruturação do Setor de Transportes, a sua metodologia ainda continua sendo a principal referência nacional em assuntos relacionados a cálculo tarifário, sendo amplamente utilizada pelas empresas concessionárias e permissionárias de serviços de transporte público. Como a peculiaridade

do cálculo tarifário não é tratada pelo *software* TransCAD, o modelo de tarifação foi desenvolvido em planilha eletrônica.

O custo da tarifa de uso da rede é composto por uma parcela variável, uma parcela fixa, e impostos. Nas Seções 4.6.1 e 4.6.2 são mostradas as memórias de cálculo das componentes do custo tarifário.

4.6.1 Custo Variável

No cálculo tarifário, o custo variável contempla o consumo de combustível, lubrificantes, rodagem e peças/acessórios, e tem valores expressos em reais por quilômetro rodado (BRASIL, 1996). Nas Tabelas 16 a 23 são mostrados os valores de insumos, coeficientes e índices considerados para a determinação dos custos variáveis envolvidos na operação em estudo.

Tabela 16 – Preço dos insumos

Insumo	Preço (R\$)
Combustível – óleo diesel	2,59/litro
Pneu para veículo Convencional	1.390,00
Pneu para veículo <i>Padron</i>	1.390,00
Pneu para veículo Especial	1.560,00
Recapagem para veículo Convencional	350,00
Recapagem para veículo <i>Padron</i>	390,33
Recapagem para veículo Especial	405,33

Fonte: Uberlândia (2015).

Os coeficientes de consumo de combustível, lubrificantes e peças/acessórios foram considerados como a média aritmética dos limites inferiores e superiores indicados pela metodologia do GEIPOT. Para a vida útil dos pneus considerou-se o valor de 125.000 quilômetros, que é adotado pela Secretaria de Trânsito e Transportes (SETTRAN) da Prefeitura de Uberlândia e é, portanto, um dado mais recente. Da mesma forma adotou-se como sendo três a quantidade de recapagens indicada para cada pneumático, conforme documentação da SETTRAN. Na Tabela 17 são mostrados os coeficientes adotados para o consumo de combustível, lubrificantes e pneus.

Tabela 17 – Coeficientes para combustível, lubrificantes e pneus

Item	Veículo		
	Convencional	Padron	Especial
Consumo de combustível (l/km)	0,37	0,48	0,65
Consumo de lubrificante equivalente ao óleo diesel (l/km)	0,05	0,05	0,05
Vida útil dos pneus (km)	125.000	125.000	125.000
Quantidade de recapagens	3	3	3
Consumo de peças e acessórios equivalente ao valor do veículo	0,00580	0,00580	0,00580

Fonte: Adaptado de Brasil (1996) e Uberlândia (2015).

O custo relativo ao combustível é calculado com o uso da Equação 4, em que c_c é coeficiente de consumo de combustível e p_{od} é o preço médio do óleo diesel.

$$c_{combustível} = c_c \cdot p_{od} \quad (4)$$

A parcela do custo variável referente ao lubrificante é determinada pela Equação 5, na qual c_l é o coeficiente de consumo de lubrificante e p_{od} é o preço médio do óleo diesel.

$$c_{lubrificante} = c_l \cdot p_{od} \quad (5)$$

Na Tabela 18 são apresentados os valores adotados para as variáveis no cálculo dos custos com combustível e lubrificante.

Tabela 18 – Custos com combustível e lubrificante

Item	Veículo		
	Convencional	Padron	Especial
Consumo de combustível (l/km)	0,37	0,48	0,65
Consumo de lubrificante equivalente ao óleo diesel (l/km)	0,05	0,05	0,05
Preço do óleo diesel (R\$/km)	2,59	2,59	2,59
<i>Custo de combustível (R\$/km) – Equação 4</i>	0,96	1,23	1,53
<i>Custo de lubrificante (R\$/km) – Equação 5</i>	0,13	0,13	0,13

Fonte: Autoria própria.

O custo de rodagem é obtido por meio da Equação 6, em que q_p é a quantidade de pneumáticos em cada veículo, q_r é a quantidade de recapagens, v_u é a vida útil, p_p é o preço dos pneus novos e p_r é o preço da recapagem.

$$c_{pneum\ ático} = \frac{q_p \cdot (p_p + q_r \cdot p_r)}{vu} \quad (6)$$

Na Tabela 19 são mostrados os valores adotados para as variáveis no cálculo do custo com pneumáticos (rodagem).

Tabela 19 – Custo de rodagem

Item	Veículo		
	Convencional	Padron	Especial
Quantidade de pneus no veículo	6	6	10
Quantidade de recapagens por pneu	3	3	3
Vida útil dos pneus (km)	125.000	125.000	125.000
Preço do pneu (R\$)	1.390,00	1.390,00	1.560,00
Preço da recapagem (R\$)	350,00	390,00	408,00
Custo total na vida útil (todos os pneus) (R\$)	14.640,00	15.366,00	27.850,00
<i>Custo de rodagem (R\$/km) – Equação 6</i>	<i>0,12</i>	<i>0,12</i>	<i>0,22</i>

Fonte: Autoria própria.

O cálculo da parcela de peças e acessórios é feito utilizando a Equação 7, na qual c_{pa} é o coeficiente mensal sugerido pelo GEIPOT, p_v é o preço de aquisição do veículo novo e PMM é o percurso médio mensal da frota.

$$c_{peças\ e\ acessórios} = \frac{c_{pa} \cdot p_v}{PMM} \quad (7)$$

Os valores de referência para aquisição de veículos novos foram obtidos da planilha de cálculo tarifário da SETTRAN do mês de janeiro de 2015(UBERLÂNDIA, 2015). O percurso médio mensal de cada veículo é calculado com o uso da Equação 8, em que q_d é a quilometragem diária percorrida pela frota (Tabela 15), d_m é a quantidade de dias que a frota circula durante um mês e n é quantidade de veículos que compõem a frota.

$$PMM = \frac{q_d \cdot d_m}{n} \quad (8)$$

Na Tabela 20 são mostrados os valores de peças e acessórios, considerando que a frota opera 26 dias por mês.

Tabela 20 – Custo de peças e acessórios

Quantidade de pontos de embarque	Item	Veículo		
		Convencional	Padron	Especial
Não se aplica	Índice mensal - GEIPOT	0,0058	0,0058	0,0058
	Valor do veículo novo (R\$) – SETTRAN	246.600,00	335.000,00	760.000,00
	Quantidade de veículos da frota (veic)	6	4	3
	Circulação da frota (dias/mês)	26	26	26
30	Quilometragem diária da frota (km) – Tabela 15	187,1	131,5	105,4
	Percorso médio mensal (km) – Equação 7	810,9	854,5	913,1
	<i>Custo de peças e acessórios (R\$/km) – Equação 6</i>	1,76	2,27	4,83
35	Quilometragem diária da frota (km) – Tabela 15	189,3	133,2	108,9
	Percorso médio mensal (km) – Equação 7	820,4	865,7	943,6
	<i>Custo de peças e acessórios (R\$/km) – Equação 6</i>	1,74	2,24	4,67
40	Quilometragem diária da frota (km) – Tabela 15	183,5	135,1	104,9
	Percorso médio mensal (km) – Equação 7	795,1	878,4	908,9
	<i>Custo de peças e acessórios (R\$/km) – Equação 6</i>	1,80	2,21	4,85

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 21 são consolidados os custos variáveis totais de operação das frotas, para os cenários de redes com 30, 35 e 40 pontos de embarque e desembarque, e para os três tipos de veículos.

Tabela 21 – Custo variável total, em R\$/km

Quantidade de pontos de embarque	Veículo		
	Convencional	Padron	Especial
30	2,97	3,77	6,86
35	2,95	3,74	6,71
40	3,00	3,71	6,89

Fonte: Autoria própria.

4.6.2 Custo Fixo

Na metodologia de tarifação proposta pelo GEIPOT, o custo fixo é formado pela depreciação, pela remuneração do capital investido, e pelas despesas com pessoal e administrativas. O cálculo da depreciação é feito em duas parcelas: para os veículos e para as máquinas e equipamentos envolvidos na operação. Para os veículos, o fator de depreciação varia em função da idade e da vida útil da frota. De acordo com o GEIPOT, a vida útil dos veículos Convencional, *Padron* e Especial deve ser 7, 10 e 12 anos,

respectivamente. Ao final da vida útil, é recomendada a adoção de valores residuais de 20% para o veículo Convencional, 15% para o veículo *Padron* e 10% para o veículo Especial.

Na Tabela 22 são mostrados os fatores anuais de depreciação para cada tipo de veículo considerado na operação, calculados a partir do método de Cole, conforme consta na metodologia de cálculo tarifário do GEIPOT, que acentua a depreciação no início da vida útil e a atenua ao final.

Tabela 22 – Fator de depreciação anual

Faixa etária	Veículo		
	Convencional	<i>Padron</i>	Especial
De 0 a 1 ano	0,2000	0,1545	0,1385
De 1 a 2 anos	0,1714	0,1391	0,1269
De 2 a 3 anos	0,1429	0,1236	0,1154
De 3 a 4 anos	0,1143	0,1082	0,1038
De 4 a 5 anos	0,0857	0,0927	0,0923
De 5 a 6 anos	0,0571	0,0773	0,0808
De 6 a 7 anos	0,0286	0,0618	0,0692
De 7 a 8 anos	0	0,0464	0,0577
De 8 a 9 anos		0,0309	0,0462
De 9 a 10 anos		0,0155	0,0346
De 10 a 11 anos		0	0,0231
De 11 a 12 anos			0,0115
Acima de 12 anos			0

Fonte: GEIPOT (1996).

O índice sugerido pelo GEIPOT para o cálculo de depreciação mensal para máquinas e equipamentos é de 0,0001. O cálculo da depreciação mensal total é feito por meio da Equação 9, em que d_a é a depreciação anual do veículo (Tabela 22), d_{me} é a depreciação mensal relativa a máquinas e equipamentos, e p_v é o preço de aquisição do veículo novo (Tabela 20).

$$c_{depreciação} = \left(\frac{d_a}{12} + d_{me} \right) \cdot p_v \quad (9)$$

Na Tabela 23 é mostrada a memória de cálculo para o custo de depreciação (veículo, máquinas e equipamentos) ao longo da vida útil dos veículos.

Tabela 23 – Custo fixo com depreciação, em R\$

Ano	Veículo		
	Convencional	Padron	Especial
1º	4.134,66	4.346,63	8.847,67
2º	3.546,93	3.916,71	8.113,00
3º	2.961,26	3.484,00	7.384,67
4º	2.373,53	3.054,08	6.650,00
5º	1.785,80	2.621,38	5.921,67
6º	1.198,07	2.191,46	5.193,33
7º	612,39	1.758,75	4.458,67
8º	-	1.328,83	3.730,33
9º	-	896,13	3.002,00
10º	-	466,21	2.267,33
11º	-	-	1.539,00
12º	-	-	804,33
A partir do 13º	-	-	-

Fonte: Autoria própria.

O custo mensal com remuneração do capital investido é calculado por meio da Equação 10, em que t_{anual} é a taxa anual de remuneração do investimento, p_v é o preço de aquisição de um veículo novo, t_{eq} e t_{almox} são as taxas mensais de remuneração de equipamento e almoxarifado, respectivamente.

$$c_{remuneração\ do\ capital} = \frac{t_{anual}}{12} \cdot p_v \cdot (1 + t_{eq} + t_{almox}) \quad (10)$$

Para a taxa de remuneração do capital investido foi adotada a taxa de 12% ao ano. As taxas de remuneração de investimentos em equipamentos e almoxarifado foram consideradas, respectivamente, 4% e 3% da remuneração mensal do capital investido em veículos, conforme orientação da metodologia GEIPOT. Na Tabela 24 são apresentados os custos fixos relativos à remuneração do capital investido.

Tabela 24 – Custo fixo de remuneração do capital investido, em R\$/mês

Veículo		
Convencional	Padron	Especial
2.638,62	3.584,50	8.123,00

Fonte: Autoria própria.

Para o cálculo do custo com pessoal é necessário determinar o fator de utilização de motorista, que representa, na média, quantos motoristas serão necessários para operar cada veículo ao longo do mês. Este fator é calculado com base no percentual da frota operante em dias úteis, a jornada de trabalho dos motoristas, e os percentuais relativos a pessoas para cobrir férias, folgas, feriados e faltas.

Na Tabela 25 é mostrada a metodologia do GEIPOT para cálculo do fator de utilização de motorista. Foi considerado o cenário de que apenas serão feitas duas viagens diárias, de segunda-feira a sábado, sendo a primeira no período da manhã (coleta) e a segunda à tarde (retorno). Foi adotada, também, a premissa de que é permitido ao motorista executar duas jornadas de trabalho com intervalo entre elas maior que duas horas.

Tabela 25 – Fator de utilização de motoristas

Percentual da frota operante			
Faixa horária	Dia útil	Sábado	Domingo
00:00-07:00	0	0	0
07:00-08:00	100	100	0
08:00-14:00	0	0	0
14:00-15:00	100	100	0
15:00-24:00	0	0	0
Duração equivalente da operação (A) (h)		2,00	
Jornada diária de trabalho dos motoristas (B)		8	
Coeficiente de utilização horas normais (C = A/B)		0,25	
Horas extras (D = C - 2), se positivo		0	
Horas normais (E = C - D)		0,25	
Coeficiente de utilização (F = E + D · 1,5)		0,25	
Coeficiente de utilização adotado (F)		1,00	
Percentual de pessoal para cobrir folgas e férias (G)		0,1424	
Pessoal para cobrir folgas e férias (H = F · G)		0,1424	
<i>Fator de utilização de motorista (I = F+H)</i>		<i>1,1424</i>	

Fonte: Autoria própria.

Por se tratar de uma operação com apenas duas viagens, com menos de duas horas de duração, o coeficiente de utilização do motorista, calculado no item *F* na Tabela 25, apresenta um valor menor que 1,00, indicando ociosidade da equipe. Para se manter coerência com os custos reais da operação, o coeficiente foi ajustado para 1,00, indicando que o custo com motoristas será integralmente contemplado no cálculo da tarifa.

O percentual de pessoal para cobertura de folgas, férias, feriados e faltas (item G na Tabela 25) foi obtido utilizando as premissas conforme mostrado na Tabela 26. Como no projeto em estudo não haverá operação da rede aos domingos, o valor relativo ao descanso semanal remunerado tem valor nulo.

Tabela 26– Percentual de pessoal para cobrir folgas, férias, feriados e faltas

Item	Premissa	Valor (%)
Folgas	Todos folgam aos domingos	0
Férias (1/11)	Um mês por ano (1/11)	9,09
Feriados	12 feriados por ano	3,29
Faltas por doença	12% dos empregados, 15 dias por ano	0,49
Faltas injustificadas	5 dias por ano	1,37
<i>Total</i>		<i>14,24</i>

Fonte: Autoria própria.

Com o fator de utilização de motorista, juntamente com o salário-base da categoria e os encargos sociais, foi obtido o custo de pessoal com a operação. Para as despesas com pessoal de manutenção e administrativo foram considerados os percentuais de 12% e 8%, respectivamente, conforme orientação da metodologia do GEIPOT. Por não se tratar de uma atividade fim da empresa, não foram considerados valores para remuneração da diretoria. Na Tabela 27 são mostrados os custos fixos com pessoal.

Tabela 27 – Custos fixos com pessoal

Item	Valor
Salário-base do motorista (R\$)	1.656,73
Fator de utilização de motorista	1,1424
Encargos sociais (%)	50,26
Custo com pessoal – operação (R\$)	2.843,93
Custo com pessoal – manutenção (12%) (R\$)	341,27
Custo com pessoal – administrativo (8%) (R\$)	227,51
<i>Custo total com pessoal (R\$)</i>	<i>3.412,72</i>

Fonte: Autoria própria.

O último item do custo fixo são as despesas administrativas, compostas por IPVA (Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores), seguros e despesas gerais. Os valores de referência para esses custos foram obtidos da planilha de custos do sistema de transporte coletivo urbano do município de Uberlândia, do mês de janeiro de 2015(UBERLÂNDIA, 2015), e são mostrados na Tabela 28.

Tabela 28 – Despesas administrativas mensais

Item	Valor
Índice de despesas gerais (percentual do valor do veículo Convencional)	0,0017
Seguro obrigatório (R\$)	33,04
IPVA (R\$)	112,56
Seguro de responsabilidade civil (R\$)	94,30
<i>Total das despesas administrativas (R\$)</i>	<i>659,12</i>

Fonte: Uberlândia (2015).

Na Tabela 29 é mostrada a totalização dos custos fixos compostos pela depreciação (Tabela 23), remuneração de capital (Tabela 24), custo com pessoal (Tabela 27) e despesas administrativas (Tabela 28). Ao longo dos anos, o custo fixo total sofrerá reduções devido à depreciação dos veículos, que é mais acelerada no início da operação. Após o período de vida útil dos veículos (7, 10 e 12 anos para veículos Convencional, *Padron* e Especial, respectivamente) não há mais o custo de depreciação, permanecendo somente os valores fixos de remuneração do capital, custo com pessoal e despesas administrativas.

Tabela 29 – Custo fixo total, em R\$/mês

Ano	Veículo		
	Convencional	<i>Padron</i>	Especial
1º	10.845,12	12.002,96	21.051,51
2º	10.257,39	11.573,05	20.316,84
3º	9.671,71	11.140,34	19.588,51
4º	9.083,98	10.710,42	18.853,84
5º	8.496,25	10.277,71	18.125,51
6º	7.908,52	9.847,80	17.397,17
7º	7.322,85	9.415,09	16.662,51
8º	6.710,46	8.985,17	15.934,17
9º	6.710,46	8.552,46	15.205,84
10º	6.710,46	8.122,55	14.471,17
11º	6.710,46	7.656,34	13.742,84
12º	6.710,46	7.656,34	13.008,17
A partir do 13º	6.710,46	7.656,34	12.203,84

Fonte: Autoria própria.

4.6.3 Custo por Passageiro

Com os custos fixos (R\$/mês) e variáveis (R\$/km) devidamente determinados nas seções anteriores, esta etapa se concentra no cálculo do custo unitário por passageiro, que

corresponde ao valor da tarifa de uso do sistema de transporte coletivo. O custo unitário por passageiro é obtido por meio da Equação 11, em que c_F é o custo fixo (Tabela 29), q_d é a quilometragem diária percorrida pela frota (Tabela 15), d_m é a quantidade de dias que a frota opera no mês (26 dias), c_V é o custo variável (Tabela 21) e IPK é o índice de passageiro por quilômetro (Tabela 15).

$$c_{\text{unitário}} = \frac{\frac{c_F}{q_d \cdot d_m} + c_V}{IPK} \quad (11)$$

Em função dos cenários modelados para a operação da rede, foi calculado o custo unitário considerando a quantidade de pontos de embarque e desembarque (30, 35 e 40 paradas), o tipo de veículo utilizado (Convencional, *Padron* e Especial) e o ano de operação (do 1º ao 13º). Na Tabela 30 são mostrados os custos unitários para todas as combinações de cenários em estudo.

Tabela 30 – Custo por passageiro(R\$)

Ano	30 paradas			35 paradas			40 paradas		
	Veículo			Veículo			Veículo		
	Convencional	<i>Padron</i>	Especial	Convencional	<i>Padron</i>	Especial	Convencional	<i>Padron</i>	Especial
1º	5,29	4,00	5,36	5,29	3,97	5,45	5,31	4,01	5,45
2º	5,05	3,88	5,22	5,06	3,85	5,30	5,07	3,90	5,30
3º	4,82	3,77	5,07	4,83	3,74	5,16	4,84	3,78	5,15
4º	4,58	3,66	4,93	4,59	3,63	5,01	4,60	3,67	5,01
5º	4,35	3,54	4,79	4,36	3,52	4,87	4,37	3,55	4,86
6º	4,11	3,43	4,64	4,12	3,40	4,72	4,13	3,44	4,72
7º	3,88	3,32	4,50	3,89	3,29	4,57	3,90	3,33	4,57
8º	3,63	3,20	4,35	3,64	3,18	4,43	3,66	3,21	4,43
9º	3,63	3,09	4,21	3,64	3,07	4,28	3,66	3,10	4,28
10º	3,63	2,98	4,07	3,64	2,95	4,14	3,66	2,99	4,14
11º	3,63	2,85	3,92	3,64	2,83	3,99	3,66	2,86	3,99
12º	3,63	2,85	3,78	3,64	2,83	3,85	3,66	2,86	3,85
13º	3,63	2,85	3,62	3,64	2,83	3,69	3,66	2,86	3,69

Fonte: Autoria própria.

Conforme pode ser observado na Tabela 30, em todos os cenários analisados o menor custo unitário se deu quando da utilização de ônibus do tipo *Padron*. Também pode ser

visto que não há variações significativas do custo unitário nas redes com 30, 35 ou 40 pontos de embarque.

Neste capítulo foram apresentadas as simulações e modelagens da rede transporte em estudo, com a geração da base de dados, agrupamento e programação da operação no aplicativo TransCAD. Também foram desenvolvidos os cálculos tarifários baseados na metodologia do GEIPOT e na planilha da SETTRAN. No próximo capítulo serão abordados os estudos de viabilidade econômico-financeira de implantação e operação da rede semipública.

CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA

Neste capítulo serão realizados os cálculos de indicadores econômico-financeiros relativos à implantação e operação da rede semipública em estudo. Serão avaliados os cenários de operação em vários turnos, visando ao equilíbrio financeiro do projeto, e geradas informações de valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), tempo de retorno do investimento (*payback*) e fluxo de caixa.

5.1 Premissas

Para as análises neste capítulo considerou-se que os funcionários que irão utilizar a rede semipública possuem salário-base de R\$ 678,00 (piso salarial da categoria, de acordo com o sindicato que representa os operadores de *telemarketing*) e trabalham em turnos de seis horas, distribuídos conforme mostrado na Tabela 31.

Tabela 31 – Turnos de trabalho dos funcionários na empresa

Turno	Início (h)	Término (h)
1	08	14
2	14	20
3	20	02
4	02	08

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a Consolidação das Leis Trabalhistas, a empresa pode descontar até 6% do salário-base dos funcionários para o custeio parcial de aquisição de Vale-Transporte. Desta forma, a empresa mensalmente poderá descontar R\$ 11.878,56 dos 292 funcionários, relativo ao custeio do sistema de transporte.

Com vistas ao equilíbrio econômico-financeiro da operação da rede de transporte em estudo foi admitida a possibilidade do uso dos veículos para realização de outras viagens,

atendendo funcionários que trabalham no turno 2. Em função da redução das atividades operacionais da empresa durante a noite e madrugada (turnos 3 e 4), a demanda de serviços de transporte de funcionários é relativamente pequena, sendo atendida por veículos tipo *van*. Considerando que os motoristas têm carga diária de trabalho com duração de 8 horas, admitidos intervalos entrejornadas superiores a 2 horas, os turnos dos motoristas serão realizados conforme mostrado na Tabela 32.

Para atendimento aos funcionários do turno 1, que devem iniciar a jornada de trabalho às 08h00min, os motoristas do turno A devem partir da empresa após às 07h00min, conforme determinado pelo roteirizador do TransCAD. Os motoristas do turno A ficam responsáveis pela busca dos funcionários nas residências (turno 1 às 07h30min e turno 2 às 13h30min), encerrando o expediente de trabalho próximo das 15h00min. Os motoristas do turno B levam os funcionários dos turnos 1 e 2 para suas respectivas residências, após o encerramento das atividades (14h00min e 20h00min), concluindo a jornada de trabalho próximo das 21h00min.

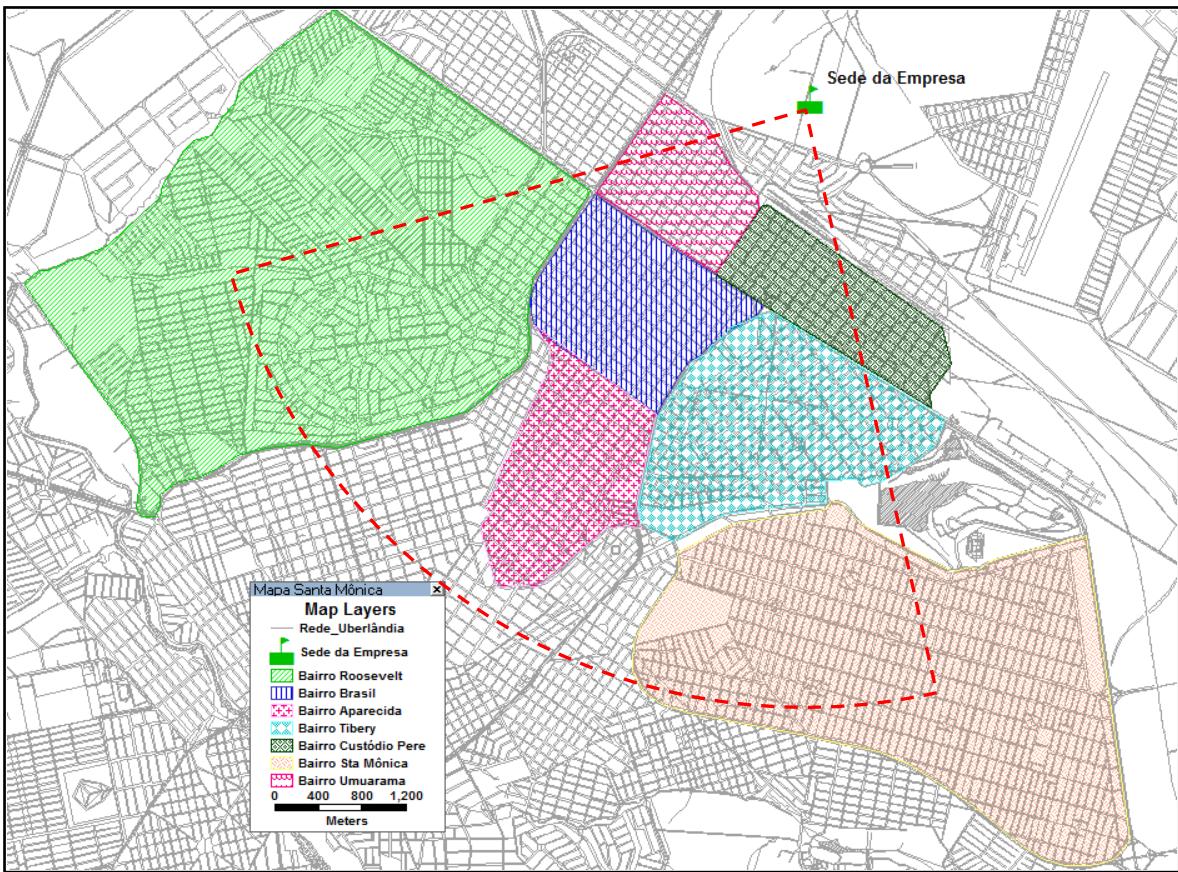
Tabela 32 – Turnos dos motoristas

Turno	Início (h)	Término (h)	Coleta Turno 1 (h)	Entrega Turno 1 (h)	Coleta Turno 2 (h)	Entrega Turno 2 (h)
A	07	15	07h30min	-	13h30min	-
B	14	22	-	14	-	20

Fonte: Autoria própria.

Para efeito de análise de viabilidade econômico-financeira considerou-se a possibilidade de uso da rede semipública de transporte coletivo para prover os serviços para os funcionários residentes no Bairro Roosevelt. Foi considerado, também, que as rotas dos veículos para atendimento a esse bairro possuem, aproximadamente, as mesmas extensões daquelas calculadas para o Bairro Santa Mônica. Conforme pode ser visto na Figura 26, as distâncias entre a empresa e os bairros Santa Mônica e Roosevelt são similares.

Figura 27 – Equidistância entre a empresa e os bairros Santa Mônica e Roosevelt



Fonte: Autoria própria.

No caso de operação em dois turnos foi adotada a premissa de que a quantidade de funcionários do turno 2 que irão utilizar a rede semipública de transporte é igual à do turno 1, ou seja, 292 funcionários. Com isso, todos os cálculos de tarifação realizados para o transporte dos funcionários do turno 1 também serão utilizados para a análise da operação do turno 2.

Por ter apresentado sempre o menor custo por passageiro, os estudos financeiros realizados neste capítulo serão referentes ao cenário que utiliza o veículo do tipo *Padron*. Como não houve variações significativas na tarifa do serviço nas simulações com 30, 35 e 40 paradas, adotou-se como referência a rede composta por 40 pontos de embarque e desembarque de passageiros, por representar a menor distância média de caminhada.

O projeto foi avaliado econômica e financeiramente durante um período de dez anos. Neste intervalo de tempo, tanto o Vale-Transporte quanto os insumos de custos terão seus valores

reajustados anualmente de acordo com a projeção do IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor – Amplo). Na Tabela 33 é mostrada a expectativa para o valor do IPCA, sendo que de 2016 a 2020 foi utilizada a expectativa apontada por estudos recentes da equipe financeira do Banco Bradesco, e de 2021 a 2025 foram mantidos os índices de 2020.

Tabela 33 – Projeção do IPCA

Ano	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
IPCA (% aa)	5,7	5,0	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5

Fonte: Adaptado de Bradesco (2015).

5.2 Avaliação da Operação com Turno Único

Neste cenário foram avaliados os indicadores de desempenho financeiro do projeto, considerando que a frota de veículos fará o transporte somente dos 292 funcionários residentes no Bairro Santa Mônica, e que trabalham no turno 1 (das 08h00min às 14h00min). No procedimento de avaliação econômico-financeira considerou-se o uso do veículo tipo *Padron*, por apresentar o menor custo por passageiro dentre os três avaliados.

Com o uso do Vale-Transporte, considerando 26 dias mensais de trabalho, os 292 funcionários terão um gasto mensal de R\$ 11.878,56, calculados a partir de 6% do salário-base de R\$ 678,00. Como atualmente na cidade de Uberlândia o valor da tarifa do serviço de transporte coletivo urbano está em R\$ 3,10, a empresa deve pagar mensalmente à Prefeitura Municipal o valor de R\$ 47.070,40, referente a 15.184 bilhetes de Vale-Transporte (292 funcionários, usando dois bilhetes por dia, durante 26 dias mensais), o que representa anualmente um custo total de R\$ 564.844,80.

A partir dos procedimentos de cálculo tarifário é possível determinar o custo geral de operação da rede semipública ao longo de um período de dez anos. O custo total anual é obtido por meio da Equação 12, em que c_V é o custo variável (Tabela 21), q_d é a quilometragem diária percorrida pela frota (Tabela 15), d_m é a quantidade de dias que a frota opera no mês (26 dias) e c_F é o custo fixo (Tabela 29).

$$c_{anual} = (c_V \cdot q_d \cdot d_m + c_F) \cdot 12 \quad (12)$$

Ao longo do período de análise, foi considerado que os custos sofreriam reajustes anuais, em decorrência de ajustes nos preços dos itens que compõem a operação da rede. O cálculo do fator de reajuste dos custos em um determinado ano de operação é calculado a partir dos índices do IPCA dos anos anteriores, devidamente acumulados conforme a Equação 13, na qual n é o ano de análise e i_n é o valor do IPCA no respectivo ano. Este reajuste será aplicado tanto ao custo de operação da rede pública quanto aos valores de custeio do Vale-Transporte.

$$i_{acumulado} = \sum_{1}^{n} (1 + i_n) - 1 \quad (13)$$

Na Tabela 33 são apresentados os custos anuais de operação da rede semipública e de aquisição de Vale-Transporte, o fator de reajuste anual acumulado e os custos anuais reajustados. Na Tabela 33 são mostradas, também, as diferenças entre o custo de operação da rede semipública e aquisição do Vale-Transporte.

Tabela 33 – Custo anual da rede (operação em 1 turno) e do Vale-Transporte (R\$)

Ano	Custo rede semipública (R\$)	Custo Vale-Transporte (R\$)	Índice de reajuste acumulado (% aa)	Custo rede semipública reajustado (R\$)	Custo Vale-Transporte reajustado (R\$)	Diferença anual (R\$)	Diferença anual acumulada (R\$)
1º	732.465,60	564.844,80	0	732.465,60	564.844,80	- 167.620,80	- 167.620,80
2º	711.829,60	564.844,80	5,70	752.403,89	597.040,95	- 155.362,93	- 322.983,73
3º	691.059,60	564.844,80	10,99	766.972,50	626.893,00	- 140.079,50	- 463.063,23
4º	670.423,60	564.844,80	15,98	777.552,77	655.103,19	- 122.449,58	- 585.512,81
5º	649.653,60	564.844,80	21,20	787.369,73	684.582,83	- 102.786,90	- 688.299,71
6º	629.017,60	564.844,80	26,65	796.665,40	715.389,06	- 81.276,34	- 769.576,05
7º	608.247,60	564.844,80	32,35	805.025,90	747.581,56	- 57.444,33	- 827.020,39
8º	587.611,60	564.844,80	38,31	812.710,93	781.222,74	- 31.488,19	- 858.508,58
9º	566.841,60	564.844,80	44,53	819.263,76	816.377,76	- 2.886,00	- 861.394,58
10º	546.205,60	564.844,80	51,04	824.962,99	853.114,76	28.151,76	- 833.242,82

Fonte: Autoria própria.

Comparando-se com o Vale-Transporte o projeto apresenta um desequilíbrio financeiro durante todo o período em análise (dez anos). O custo correspondente à aquisição do Vale-Transporte no primeiro ano foi de R\$ 564.844,80 (292 funcionários, fazendo duas viagens por dia, durante 26 dias por mês, 12 meses por ano, ao custo unitário de R\$ 3,10). No primeiro ano de operação, o custo da rede semipública foi de R\$ 732.465,60, isto é, R\$

167.620,80 mais caro que a compra de Vale-Transporte. Somente após o 10º ano de operação a rede semipública se tornaria mais barata que a aquisição do Vale-Transporte, e em dez anos de análise, o saldo negativo acumulado seria superior a R\$ 833 mil.

Diante dos dados apresentados, o cenário no qual a frota opera em somente um turno de trabalho se torna economicamente inviável, acumulando em dez anos um déficit da ordem de R\$ 833 mil.

5.3 Avaliação da Operação com Dois Turnos

Nesta simulação, a frota de ônibus irá operar em dois turnos (turnos 1 e 2), transportando 584 funcionários diariamente, com 40 paradas e utilizando veículo *Padron*. Para este cenário foi necessário promover alguns ajustes nos insumos de custo da operação, tais como o fator de utilização de motorista e a quilometragem mensal percorrida.

Com um novo turno de trabalho, a duração equivalente da operação teve seu valor dobrado, se comparado com cenário anterior (somente um turno), e foram conservados os índices de pessoal para cobrir folgas, férias, feriados e faltas. Desta forma, o fator de utilização de motorista, para a operação em dois turnos foi de 2,1424. De acordo com as premissas citadas na Seção 5.1, a quilometragem mensal percorrida foi duas vezes maior que no cenário anterior, resultando no valor de 7.027,1km. Os procedimentos de tarificação descritos na Seção 4.6.3 foram aplicados ao cenário em questão, gerando os custos unitários por passageiro, conforme mostrado na Tabela 34.

Comparando-se as tarifas dos dois cenários (1 turno e 2 turnos), conforme valores das Tabelas 30 e 34, verifica-se que a tarifa média foi reduzida de R\$ 3,51 (1 turno) para R\$ 2,58 (2 turnos), representando uma redução de 26,5% em consequência do compartilhamento dos custos fixos da operação.

Tabela 34 – Custos da rede semipública em operação com dois turnos

Item	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Custo variável total (R\$/km)	3,71	3,71	3,71	3,71	3,71
Custo fixo mensal total (R\$/veículo)	14.990,20	14.560,28	14.127,58	13.697,66	13.264,95
Frota	4	4	4	4	4
IPK (pass./km)	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
Distância mensal percorrida (km)	7.027,1	7.027,1	7.027,1	7.027,1	7.027,1
Custo fixo total (R\$)	59.960,80	58.241,13	56.510,30	54.790,63	53.059,80
Custo variável total (R\$)	26.053,88	26.053,88	26.053,88	26.053,88	26.053,88
Custo total (R\$)	86.014,68	84.295,02	82.564,18	80.844,52	79.113,68
Funcionários transportados por dia	584	584	584	584	584
Dias de operação, por mês	26	26	26	26	26
Custo por passageiro (R\$)	2,83	2,78	2,72	2,66	2,61
Item	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Custo variável total (R\$/km)	3,71	3,71	3,71	3,71	3,71
Custo fixo total (R\$/veículo)	12.835,03	12.402,33	11.972,41	11.539,70	11.109,78
Frota	4	4	4	4	4
IPK (pass./km)	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
Distância mensal percorrida (km)	7.027,1	7.027,1	7.027,1	7.027,1	7.027,1
Custo fixo total (R\$)	51.340,32	49.609,49	47.889,82	46.158,99	44.439,32
Custo variável total (R\$)	26.053,88	26.053,88	26.053,88	26.053,88	26.053,88
Custo total (R\$)	77.394,02	75.663,18	73.943,52	72.212,68	70.493,02
Funcionários transportados por dia	584	584	584	584	584
Dias de operação, por mês	26	26	26	26	26
Custo por passageiro (R\$)	2,55	2,49	2,43	2,38	2,32

Fonte: Autoria própria.

Da mesma forma procedida na Seção 5.2, foram calculados os custos anuais de operação da rede semipública e de aquisição do Vale-Transporte aplicando-se os índices de reajustes referentes à projeção do IPCA. Na Tabela 35 são evidenciados os custos da rede e do Vale-Transporte, os índices e custos projetados ao longo do período de análise de 10 anos.

Tabela 35 – Custo anual da rede (operação em 2 turnos) e do Vale-Transporte (R\$)

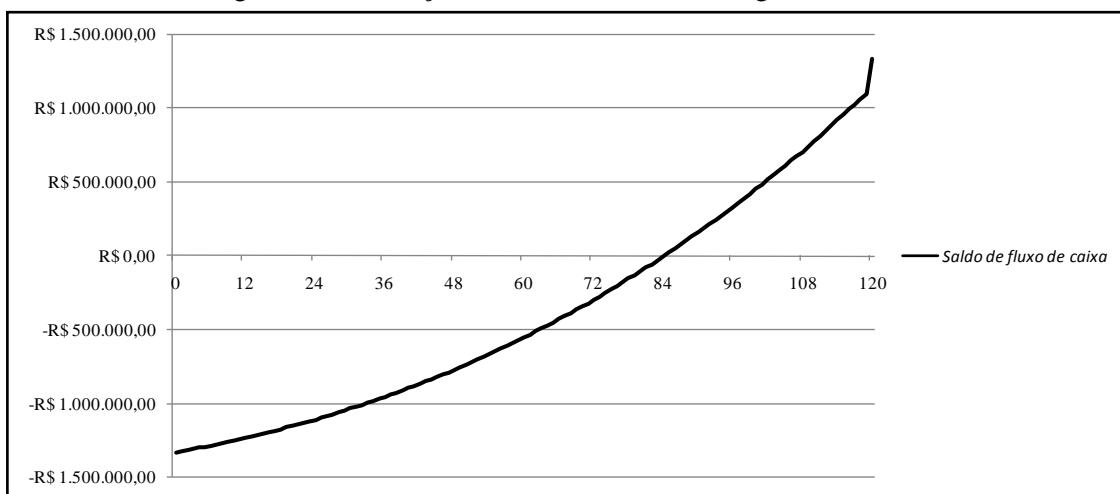
Ano	Custo rede semipública (R\$)	Custo Vale-Transporte (R\$)	Índice de reajuste acumulado (% aa)	Custo rede semipública reajustado (R\$)	Custo Vale-Transporte reajustado (R\$)	Diferença anual (R\$)	Diferença anual acumulada (R\$)
1º	1.032.176,19	1.129.689,60	0	1.032.176,19	1.129.689,60	97.513,41	97.513,41
2º	1.011.540,19	1.129.689,60	5,7	1.069.197,98	1.194.081,91	124.883,92	222.397,33
3º	990.770,19	1.129.689,60	10,99	1.099.606,30	1.253.786,00	154.179,71	376.577,04
4º	970.134,19	1.129.689,60	15,98	1.125.155,09	1.310.206,37	185.051,29	561.628,32
5º	949.364,19	1.129.689,60	21,20	1.150.614,16	1.369.165,66	218.551,50	780.179,82
6º	928.728,19	1.129.689,60	26,65	1.176.255,82	1.430.778,11	254.522,29	1.034.702,11
7º	907.958,19	1.129.689,60	32,35	1.201.697,89	1.495.163,13	293.465,24	1.328.167,35
8º	887.322,19	1.129.689,60	38,31	1.227.233,16	1.562.445,47	335.212,31	1.663.379,66
9º	866.552,19	1.129.689,60	44,53	1.252.439,49	1.632.755,52	380.316,02	2.043.695,68
10º	845.916,19	1.129.689,60	51,04	1.277.631,64	1.706.229,51	428.597,88	2.472.293,56

Fonte: Autoria própria.

Na comparação dos custos de operação da rede semipública rodando em dois turnos com os valores de compra do Vale-Transporte observou-se que, financeiramente, é mais barato para a empresa operar a rede semipública. No primeiro ano de operação, o custo anual da rede semipública resultou em R\$ 1.032.176,19 e o custo de aquisição de 364.416 Vale-Transportes foi de R\$ 1.129.689,60, indicando que já no início da operação há uma vantagem financeira em se implantar tal rede de transporte, acumulando ao final de 10 anos mais de R\$ 2,4 milhões de saldo positivo.

Para aquisição da frota, a empresa deverá fazer um investimento de R\$ 1.340.000,00 (um milhão, trezentos e quarenta mil reais) referentes a quatro ônibus do tipo *Padron* no valor unitário de R\$ 335.000,00. Para avaliação do fluxo de caixa considerou-se que o investimento se deu em uma única parcela, antes do início da operação. Desta forma, o valor inicial do saldo de caixa é R\$ 1.340.000,00 negativos, pois a empresa pagou pelos ônibus e ainda não teve nenhuma contrapartida de receita ou redução de custos. Ao longo dos meses, o valor negativo será deduzido pelo saldo referente à economia gerada pela implantação da rede semipública. O saldo do caixa deixa de ser negativo no 85º mês, tendo retorno do investimento em 7 anos. A taxa interna de retorno do investimento foi de 0,95% ao mês e o valor presente líquido próximo de R\$ 490 mil, considerando uma taxa mensal de desconto de 0,5% e o valor residual dos veículos em 15% do capital investido. Na Figura 27 é mostrada a evolução do saldo de caixa ao longo dos dez anos de análise do investimento. Nesta figura, no eixo das abscissas são mostrados os meses de análise de viabilidade, e o eixo das ordenadas informa o respectivo saldo do fluxo de caixa.

Figura 28 – Evolução do saldo do caixa ao longo de dez anos



Fonte: Autoria própria.

Este capítulo abordou as análises econômico-financeiras do projeto de implantação e operação da rede semipública em estudo, para os cenários de operação em turno único e em dois turnos. Foram gerados os indicadores de prazo de retorno do investimento (*payback*), taxa interna de retorno (TIR) e valor presente líquido (VPL). No capítulo seguinte serão apresentadas as conclusões e sugestões de desenvolvimentos de trabalhos futuros.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

Neste capítulo final são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido e sugeridos temas para estudos futuros.

6.1 Conclusões

A implantação da rede semipública de transporte coletivo urbano resultou financeiramente inviável, quando se avaliou o cenário de atendimento de somente um grupo de 292 funcionários. Os investimentos de R\$ 1,3 milhão para aquisição dos veículos, aliados aos custos operacionais, não apontaram um retorno financeiro dentro de um período de dez anos. Neste caso específico, a aquisição debilhetes de Vale-Transporte ao valor unitário atual de R\$ 3,10 é mais atrativo para a empresa, pois o déficit do saldo de caixa no final de dez anos seria de R\$ 833 mil com a implantação da rede semipública.

Com inserção de um novo turno na operação da rede semipública, a quantidade de passageiros passou de 292 para 584, e o custo variável total no primeiro ano subiu de R\$ 192.047,44 para R\$ 239.843,20. No entanto, a estrutura do custo fixo pôde ser compartilhada com mais viagens, e o custo por passageiro reduziu de R\$ 4,02 para R\$ 2,83, tornando mais barata a operação da rede semipública, se comparada com a aquisição de 364.416 bilhetes de Vale-Transporte. No primeiro ano, a diferença entre os custos de operação da rede e os valores de aquisição do Vale-Transporte foi de R\$ 97.513,41. Nos anos seguintes este saldo aumentou devido à queda dos custos com depreciação dos veículos, chegando a R\$ 428,6 mil mensais no décimo ano de operação. Do ponto de vista econômico-financeiro, a implantação e operação da rede semipública é viável para o atendimento de, pelo menos, dois turnos.

A implantação da rede proposta neste trabalho pode trazer aos usuários uma maior percepção de qualidade do transporte semipúblico em relação ao transporte coletivo tradicional. O controle das grades horárias e a reduzida distância de caminhada até o ponto

de embarque diminuirão o tempo total de viagem dos funcionários. Adicionalmente, o uso de uma frota de veículos novos e bem conservados reforçará o quesito de qualidade do serviço de transporte. Para a empresa, a implantação da rede semipública possibilitará a redução dos atrasos no início das jornadas de trabalho e dos afastamentos por acidentes de trânsito no percurso entre residência e trabalho, e vice-versa. Em função da menor quantidade de carros e motocicletas poderá diminuir, também, a área de estacionamento no pátio da empresa, podendo aproveitá-la para outros fins.

6.2 Sugestões de Estudos Futuros

Para estudos futuros é sugerido o levantamento da demanda para a rede semipública no Bairro Roosevelt, tornando possível o desenvolvimento, no *software* TransCAD, das rotas e simulações de programação da operação e tarifação. Com isso, ao realizar a análise financeira do projeto, será possível confirmar a sua viabilidade de implantação e operação, atendendo de forma mais abrangente os funcionários da empresa. Será possível, também, avaliar a possibilidade de a empresa adquirir os veículos sob a forma dearrendamento financeiro (*leasing*), e simular os impactos no fluxo de caixa e nos indicadores financeiros.

Outro ponto sugerido para estudo é a quantificação do impacto da flexibilização do horário de início dos turnos de trabalho no desempenho operacional da rede semipública. Como as viagens de coleta e entrega de funcionários duram menos de 1 hora, caso a empresa adotasse uma maior quantidade de turnos, a demanda pelo serviço de transporte seria diluída ao longo do tempo, possibilitando o uso da frota para prover tal facilidade. Do ponto de vista financeiro, a empresa poderia ter melhores indicadores de desempenho da implantação e operação da rede proposta.

Foram considerados neste estudo apenas três tipos de veículos que potencialmente poderiam atender a demanda. No entanto, existem outros veículos que podem ser avaliados, como, por exemplo, micro-ônibus e miniônibus, que podem ser usados para atendimento de áreas com menores demandas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS- ANTP. **Sistema de informações da mobilidade urbana: relatório comparativo 2003-2012.** São Paulo, p. 3-5,2014.

BANJO, G.; DIMITRIOU, H. Urban transport problems of third world cities: the third generation. **Habitat International**, Great Britain, v. 7, n. 3/4, p. 99-110, 1983.

BORGES, A. **Tarifa simplificada metodologia de Uberlândia, MG: dados técnicos do CTA estatísticas.** Uberlândia: Prefeitura Municipal de Uberlândia, 2013. 36 p. Apostila.

BRADESCO. **Economia em dia – Projeções Bradesco de Longo Prazo.** Portal Bradesco, 2015. Disponível em:<<http://www.economiaemdia.com.br/vgn-ext-templating/v/index.jsp?vgnextoid=065098037f782310VgnVCM100000882810acRCRD&vgnextfmt=default>>. Atualizado em 30 abr.2015. Acesso em: 02maio 2015.

BRASIL. Decreto-lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943. Aprova a Consolidação das Leis do Trabalho. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 1º maio 1943, cap. III, seção I, art. 76-82.

_____. Lei nº 7.418, de 16 de dezembro de 1985. Institui o Vale-Transporte e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 dez. 1985.

_____. Decreto nº 95.247, de 17 de novembro de 1987. Regulamenta a Lei nº 7.418, de 16 de dezembro de 1985, que institui o Vale-Transporte, com alteração da Lei nº 7.619, de 30 de setembro de 1987. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 nov. 1987.

_____. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, Senado Federal, 1988, Título II, Capítulo 2, Artigo 7º.

_____. Ministério dos Transportes. Empresa Brasileira de Planejamento de Transportes. GEIPOT. **Cálculo de tarifa de ônibus urbanos: instruções práticas atualizadas**. Brasília, DF, 1996, 75 p.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Transporte e Mobilidade Urbana. **PlanMob – Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana**. Brasília, v. 1, 2007a, 180 p.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Transporte e Mobilidade Urbana. **Manual para apresentação de propostas do Programa 9989 - Mobilidade Urbana**. Brasília, v. 1, 2007b, 17 p.

_____. Ministério das Cidades. **Relatório de Avaliação do Plano Plurianual 2008-2011 Ano Base 2008**. Brasília, 2009, 112 p.

_____. Ministério das Cidades. **Relatório de Avaliação do Plano Plurianual 2008-2011 Ano Base 2009**. Brasília, 2010, 80 p.

_____. Ministério das Cidades. **Relatório de Avaliação do Plano Plurianual 2008-2011 Ano Base 2010**. Brasília, 2011, 85 p.

_____. Ministério das Cidades. **Relatório de Avaliação do Plano Plurianual 2008-2011 Ano Base 2011**. Brasília, 2012a, 52 p.

_____. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Secretaria de Planejamento e Investimentos Estratégicos. **Relatório de Avaliação: Plano Plurianual 2008-2011**. Brasília, v. 1, parte 2, p. 1490-1507, 2012b.

_____. Agência Nacional dos Transportes Terrestres. **Resolução 4.130 de 03/07/2013**. Brasília, DF, 2013.

_____. **Acidentes de trânsito causam mais de 40 mil mortes no Brasil.** Portal Brasil, 2011. Disponível em:<<http://www.brasil.gov.br/saude/2011/11/acidentes-de-transito-causam-mais-de-40-mil-mortes-no-brasil>>. Acesso em: 31 out. 2013.

CALIPER. TransCAD Transportation GIS Software: User's Guide. Version 3.0 for Windows. Caliper Corporation, Newton, MA, 1996.

CALIPER. Routing and Logistics with TransCAD 3.0 for Windows. Caliper Corporation, Newton, MA, 1996.

CINTRA, M. A crise do trânsito em São Paulo e seus custos. **GV Executivo.** São Paulo, v. 12, n. 2, p. 58-61, jul/dez, 2013.

CRUZ, MARGARIDA. Avaliação dos impactos das restrições ao trânsito de veículos. 2006. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas, 2006.

DENG, T.; NELSON, J. Recent developments in bus rapid transit: a review of the literature. **Transport Reviews**, v. 31, p. 69-96, 2011.

EUZÉBIO, R. O custo do caos – prejuízo ao bolso e ao meio ambiente – cidades não suportam mais o crescimento da frota de veículos. **Desafios do desenvolvimento.** Brasília, 2009, ano 6, v. 56. Disponível em:
<http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=1252:reportagens-materias&Itemid=39>. Acesso em: 30 out. 2013.

FAROLCOMUNITARIO. Disponível em:
<http://www.farolcomunitario.com.br/uberlandia_100_0420.htm>. Acesso em: 09maio. 2015.

FERRAZ, A.C.P.; TORRES, I.G.E. **Transporte público urbano.** 2. ed. São Carlos: RiMa, 2004. 428 p.

GAKENHEIMER, R. Urban mobility in the developing world. **Transportation Research**. Part A, v. 33, p. 671-689, 1999.

GYIMESI, K.; VINCENT, C.; LAMBA, N. **Frustation Rising: IBM 2011 Commuter Pain Survey**. United States, 2011.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA (Brasília). **Brasil em desenvolvimento: Estado, planejamento e políticas públicas**. Brasília, v. 2, cap. 16, p. 451-467, 2009.

_____. **Brasil em desenvolvimento 2011: Estado, planejamento e políticas públicas**. Brasília, v. 1, cap. 3, 2012, 77 p.

LITMAN, T.; LAUBE, F. Automobile Dependency and Economic Development. **Victoria Transport Policy Institute**, Victoria, Canada, 2002.

MENCKHOFF, G. Latin American experience with bus rapid transit. **Institute of Transportation Engineers - annual meeting**, Melbourne, 2005.

MEYER, M.; MILLER, E. **Urban transportation planning**. 2nded. New York: McGraw Hill, p. 1-34, 2001.

NEUMANN, A.; NAGEL, K. **A paratransit-inspired evolutionary process for public transit network design**. Transport Systems Planning and Transport Telematics. Berlin, 2011.

NEWMAN, P.; KENWORTHY, J. Urban design to reduce automobile dependence. **Opolis**. v. 02, n. 01, p.35-52, 2006.

OLIVEIRA, A. **Cálculos trabalhistas**. 24. Ed. São Paulo: Atlas, p. 837-843, 2012.

OLIVEIRA, A. **Consolidação das leis de trabalho e legislação complementar anotada.** 2. Ed. São Paulo: Atlas, p. 51-66, 2001.

PODUWAL, S. Driving to work taking toll on your performance: how to reduce commuter stress? **The Economic Times.** Índia, 2012. Disponível em:<http://articles.economictimes.indiatimes.com/2012-02-19/news/31075297_1_global-commuter-pain-survey-stress-city-survey>. Acesso em: 22 jul. 2014.

PRADO, L. **Transportes e corrupção: um desafio à cidadania.** Topbooks, 1997, 446 p.

SASSINE, V. Empreiteiras financiam *lobby* para limitar ação do TCU. **Jornal O Globo,** Rio de Janeiro, 20 jul. 2013. Caderno País. Disponível em:<<http://oglobo.globo.com/pais/empreiteiras-financiam-lobby-para-limitar-atuacao-do-tcu-9112169>>. Acesso em: 12 nov. 2013.

SEGURADORA LÍDER. **Brasil: um acidente a cada 30 segundos; duas indenizações a cada minuto.** Disponível em:<<http://www.dpvatsegurodotransito.com.br/noticia2.aspx>>. Acesso em: 31 out. 2013.

SKYSCRAPER CITY. Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com>>. Acesso em: 09maio. 2015.

STUHNRENBERG, M. A cidade dos enigmas. **Revista Geo.** Brasil, 2011. Disponível em:<<http://revistageo.uol.com.br/cultura-expedicoes/26/artigo220526-3.asp>>. Acesso em: 16 jul. 2012.

UBERLÂNDIA. **Lei Orgânica (2010). Lei Orgânica do Município de Uberlândia.** Uberlândia, MG: Câmara Municipal de Uberlândia, 2010.

_____. **Planilha de Custo do Sistema de Transporte Coletivo Urbano do Município de Uberlândia.** Uberlândia, MG: Diretoria de Planejamento de Transportes da Prefeitura Municipal de Uberlândia, 2015.

UNESCO (Paris). **Human Settlements Challenge Area Report**. Paris, 2012. v. 2, p.51.

VASCONCELLOS, E. Urban change, mobility and transport in São Paulo: three decades, three cities. **Transport Policy**, v. 12, p. 91-104, 2005.

VIOLATO, R.; SANCHES, S.da P. Aceitabilidade de medidas de gestão da demanda. InCirculação a serviço da cidadania na cidade do século XXI, 1, 2001, Rio Grande do Sul, **Anais do 13º Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito**, São Paulo: ANTP, 2001.

VUCHIC, R. **Urban transit systems and technology**. John Wiley and Sons, Inc., 2007, 571 p.

WOOTTON, J. Replacing the private car. **Transport Reviews**, v. 19, n. 2, p. 157-175, 1999.