

**LUKAS NAOTO NEVES HOSHINA
PEDRO BRAZINKAS CHIOVETTI
RENATA SERSON DELUCA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE E IMPACTOS DA APLICAÇÃO DE
FERRAMENTAS ITS EM FAIXAS E CORREDORES DE ÔNIBUS**

**São Paulo
2015**

**LUKAS NAOTO NEVES HOSHINA
PEDRO BRAZINKAS CHIOVETTI
RENATA SERSON DELUCA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE E IMPACTOS DA APLICAÇÃO DE
FERRAMENTAS ITS EM FAIXAS E CORREDORES DE ÔNIBUS**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Grau de
Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Professor Doutor Cláudio
Luiz Marte

**São Paulo
2015**

**LUKAS NAOTO NEVES HOSHINA
PEDRO BRAZINKAS CHIOVETTI
RENATA SERSON DELUCA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE E IMPACTOS DA APLICAÇÃO DE
FERRAMENTAS ITS EM FAIXAS E CORREDORES DE ÔNIBUS**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Grau de
Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Professor Doutor Cláudio
Luiz Marte

**São Paulo
2015**

Catálogo-na-publicação

Hoshina, Lukas Naoto Neves

Estudo de viabilidade e impactos da aplicação de ferramentas ITS em faixas e corredores de ônibus / L. N. N. Hoshina, P. B. Chiovetti, R. S. Deluca -- São Paulo, 2015.

126 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1.Ônibus (Simulação) 2.Sistemas Inteligentes de Transporte 3.Transportes Público I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II.t. III.Chiovetti, Pedro Brazinkas IV.DelUCA, Renata Serson

AGRADECIMENTOS

À Letícia Chijo, ao Rodrigo Laboissière, ao Pedro Henrique Fernandes e à Larissa Zippoli, que nos auxiliaram na realização deste trabalho, fornecendo suporte técnico; ao Luciano Peron, cuja tese de mestrado nos forneceu a inspiração para a escolha do tema e pela ajuda e orientação durante a produção do trabalho; à Maria Inês Lippe, que muito nos ajudou com as licenças do simulador; ao Leopoldo Yoshioka, pelas ideias fornecidas; a nossos amigos, namoradas e namorado, pela paciência e apoio durante este ano; a nossos pais, irmãos e irmã por acreditarem em nós e não nos deixarem desistir jamais.

Um agradecimento especial ao Prof. Dr. Cláudio Marte, pela persistência, paciência, atenção e por nos mostrar o caminho para o sucesso.

RESUMO

A cidade de São Paulo tem mostrado elevados níveis de congestionamento em seus principais corredores de tráfego. Como alternativa aos veículos particulares, tem-se investido em faixas exclusivas e corredores de ônibus nestas vias. O presente trabalho tem como objetivo averiguar e simular a forma de priorização à circulação dos ônibus num trecho da Avenida Radial Leste (Rota 7G da CET/SP), por meio da utilização de faixas exclusivas ou do modelo BRT integrado a elementos de ITS, analisando a operação dos ônibus que lá trafegam diariamente, desde 2011 em faixas exclusivas (à direita) e futuramente num corredor (central) tipo BRT. Para compreender a região estudada são apresentadas as características da avenida e das linhas de ônibus naquele trecho. É estudado o funcionamento de um sistema BRT e das ferramentas de ITS existentes que poderiam ser aplicadas, sendo apresentadas as principais características tanto da operação dos ônibus quanto dessas ferramentas. Estão listadas as diversas configurações para a implantação do corredor, a partir das recomendações dos manuais existentes na literatura nacional. A análise da velocidade dos ônibus foi realizada a partir de dados obtidos da SPTrans, com a ajuda do *software* ProGrid, enquanto que a velocidade dos veículos em geral foi obtida por meio da Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET/SP. Por fim, efetuou-se uma simulação de tráfego utilizando-se o *software* VisSim, objetivando a validação da implantação do corredor e das ferramentas ITS propostas para o trecho estudado. Os resultados das simulações mostram que não é possível melhorar as velocidades médias de automóveis e ônibus em ambos os sentidos. Mas é possível atingir melhorias significativas nos tempos de viagem e nas velocidades médias para os ônibus, sem interferir sobremaneira no tráfego em geral.

Palavras-Chave: Faixas exclusivas de ônibus, BRT, ITS, Radial Leste, SPTrans, CET/SP

ABSTRACT

High levels of traffic jam have been observed in the main routes of São Paulo city. As a possible alternative, it has been invested on exclusive lanes and bus corridors. The present study aims to specify a way of prioritizing the circulation of buses at a stretch of Avenida Radial Leste, through the usage of exclusive lanes or BRT model integrated to ITS elements, analyzing the daily operation of the buses that travel there. In order to understand the studied area, there are presented the characteristics of the Ave and of the buses lines. The performance of a BRT system and the possible ITS tools that could be applied have been evaluated, being described the main characteristics of both the buses operation and such tools. There have been listed several configurations for the implementation of the exclusive lanes, based on the recommendations found on local literature. The analysis of the buses speed was done with data obtained from SPTrans, with the help of ProGrid software, while the speed of other vehicles was extracted from the report of CET called “Pesquisa de Monitoração da Fluidez”. Finally, a traffic simulation was performed using the software VisSim, with the objective of validating the implementation of a bus-only corridor, as well as of the recommended tools. The simulation results show that it is not possible to improve both buses and cars average speed in both ways. Although it is possible to achieve significant improvement to the travel times and average speed of buses, without interfering on the general traffic.

Key-Words: Bus priority lane, BRT, ITS, Radial Leste, SPTrans, CET

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - BRT de Bogotá e suas principais características em destaque	21
Figura 2.2 - Infográfico comparativo entre modais	22
Figura 2.3 - Integração de elementos ITS	24
Figura 2.4 - PMV na estação do BRT de Curitiba	26
Figura 2.5 - Painéis dentro de veículo em ônibus da capital paulista	26
Figura 2.6 - CFTV nas estações do BRT de Curitiba	27
Figura 2.7 - Botão de pânico para o condutor no BRT Rio.....	28
Figura 2.8 - Direção guiada por roda lateral em Mannheim, Alemanha	30
Figura 2.9 - Kassel Kerb.....	30
Figura 2.10 - Orientação ótica	31
Figura 2.11 - Exemplo de funcionamento do sistema de prioridade semafórica	33
Figura 2.12 - Sistema de Controle de Linhas	34
Figura 2.13 - Principais elementos da faixa exclusiva	36
Figura 2.14 - Principais elementos da faixa exclusiva	36
Figura 2.15 – Configuração 1: sem faixa exclusiva	38
Figura 2.16 - Configuração 1: com faixa exclusiva	38
Figura 2.17 - Configuração 2: sem faixa exclusiva	39
Figura 2.18 - Configuração 2: com faixa exclusiva	39
Figura 2.19 - Configuração 3: sem faixa exclusiva	40
Figura 2.20 - Configuração 3: com faixa exclusiva	40
Figura 2.21 - Configuração 4: sem faixa exclusiva	41
Figura 2.22 - Configuração 4: com faixa exclusiva	41
Figura 2.23 - Configuração 5: sem faixa exclusiva	42
Figura 2.24 - Configuração 5: com faixa exclusiva	42
Figura 2.25 - Com maior deterioração da separação, mais veículos invadem a faixa de ônibus.....	43
Figura 2.26 - Configuração de via típica para corredor BRT	44
Figura 2.27 - Exemplo com apenas uma faixa de trânsito misto, em Rouen (França)	46
Figura 2.28 - Exemplo de alameda de transporte em Pereira	47
Figura 2.29 - Exemplo de corredores divididos em Guayaquil, que utiliza uma configuração com o serviço em cada sentido acontecendo em uma rua paralela diferente	47
Figura 2.30 - Em Nagoya, a linha Yutorito utiliza estrutura rodoviária elevada para evitar qualquer conflito com tráfego no nível da rua.....	48
Figura 2.31 - A linha elevada de Nagoya utiliza um sistema de guia mecânico para reduzir a largura da via requerida.....	49
Figura 2.32 - Estações no canteiro central e estações escalonadas.....	50
Figura 2.33: Estações no canteiro central e estações alongadas	51
Figura 3.1 - Muro de divisa entre os trilhos do Metrô e a Radial Leste	54
Figura 3.2 - Funcionamento da faixa reversível no período da manhã, sentido bairro-centro	55
Figura 3.3: Funcionamento da faixa reversível no período da tarde, sentido centro-bairro	55
Figura 3.4 - Ciclovía na Radial Leste, próxima à estação Tatuapé	56

Figura 3.5 - Confluência das avenidas Radial Leste e Aricanduva	57
Figura 3.6 - Placa de sinalização para faixa exclusiva de ônibus.....	58
Figura 3.7 - Esquema do trajeto e paradas de ônibus - Corredor Radial Leste 1 e 259	
Figura 3.8 - Vista aérea do Corredor Radial Leste 1	59
Figura 3.9 - Parada de ônibus em nível	60
Figura 3.10 - Parada de ônibus elevada	60
Figura 3.11 - Estação Sé, sentido Corinthians-Itaquera, em horário de pico a tarde	62
Figura 3.12 - Localização e coordenadas do trecho estudado	63
Figura 3.13 - Rota 7G.....	65
Figura 3.14 - Gráfico: Volume de Veículos na Av. Radial Leste.....	65
Figura 3.15 – Gráfico: Composição de veículos na Av. Radial Leste no período da manhã	66
Figura 3.16 - Gráfico: Composição de veículos na Av. Radial Leste no período da manhã	67
Figura 3.17 - Gráfico: Velocidade média por sentido e período	68
Figura 3.18 – Gráficos: Porcentagem do tempo de percurso utilizada em cada situação, durante o pico da manhã, para a rota 7G da Av. Radial Leste	69
Figura 3.19 – Gráfico: Porcentagem do tempo de percurso utilizada em cada situação, durante o pico da tarde, para a rota 7G da Av. Radial Leste	69
Figura 3.20 -Script de filtro no SQL	70
Figura 3.21 - Modelo de planilha utilizada para cálculo da velocidade.....	71
Figura 3.22 - Princípio dos “triângulos retângulos”	72
Figura 3.23 - Gráfico: Velocidades médias dos ônibus no período de pico da manhã	73
Figura 3.24 - Gráfico: Velocidades médias dos ônibus no período de pico da tarde.	74
Figura 3.25 - Rota 7G e suas subdivisões, Pesquisa de Monitoração da Fluidez, CET	76
Figura 3.26 – Gráfico: Evolução das velocidades dos veículos em geral no período da manhã	78
Figura 3.27 – Gráfico: Evolução das velocidades dos veículos em geral no período da tarde	78
Figura 3.28 - Análise comparativa dos índices de lentidão para agosto e setembro de 2009 em relação a 2008.....	81
Figura 3.29 - Comparativo entre velocidades de ônibus e demais veículos ao longo dos anos no período de pico da manhã, sentido bairro-centro.....	83
Figura 3.30 – Gráfico: Comparativo entre velocidades de ônibus e demais veículos ao longo dos anos, no período de pico da manhã, sentido centro-bairro	84
Figura 3.31 - Gráfico: Comparativo entre velocidades de ônibus e demais veículos ao longo dos anos, no período de pico da tarde, sentido bairro-centro.....	84
Figura 3.32 - Gráfico: Comparativo entre velocidades de ônibus e demais veículos ao longo dos anos no período de pico da tarde, sentido centro-bairro.....	85
Figura 4.1 – Imagem do modelo operando uma simulação para a situação atual, com destaque para a localização das paradas de ônibus.....	93
Figura 4.2 – Imagem do modelo operando uma simulação para o cenário do corredor, com destaque para a localização das paradas de ônibus.....	94
Figura 4.3 - Gráfico: Tempos de viagem e retardamento dos ônibus para o sentido bairro-centro no período da manhã	101

Figura 4.4 - Gráfico: Tempos de viagem e retardamento dos ônibus para o sentido centro-bairro no período da manhã	101
Figura 4.5 - Gráfico: Tempos de viagem e retardamento dos demais veículos para o sentido bairro-centro no período da manhã	102
Figura 4.6 - Gráfico: Tempos de viagem e retardamento dos demais veículos para o sentido centro-bairro no período da manhã	103
Figura 4.7 – Comparativo: tempo de viagem dos ônibus x demais veículos, no sentido bairro-centro, manhã.....	104
Figura 4.8 - Comparativo: tempo de viagem dos ônibus x demais veículos, no sentido centro-bairro, manhã	105
Figura 4.9 – Gráfico da capacidade do sistema de BRT	106
Figura 4.10 - Modelo esquemático das posições de parada indicadas por PMV	107
Figura 7.1 - Projeto Geométrico do Corredor Radial Leste 1, para o trecho estudado, parte 1Fonte: SPTtrans	114
Figura 7.2 - Projeto Geométrico do Corredor Radial Leste 1, para o trecho estudado, parte 2	115
Figura 7.3 - Projeto Geométrico do Corredor Radial Leste 1, para o trecho estudado, parte 3	116
Figura 7.4 - Projeto Semafórico do Corredor Radial Leste 1 para trecho estudado, parte 1	117
Figura 7.5 - Projeto Semafórico do Corredor Radial Leste 1 para trecho estudado, parte 2	118
Figura 7.6 - Projeto Semafórico do Corredor Radial Leste 1 para trecho estudado, parte 3	119
Figura 7.7 - Projeto Semafórico do Corredor Radial Leste 1 para trecho estudado, parte 4	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Principais elementos da faixa exclusiva	37
Tabela 2.2 - Largura mínima recomendada por sentido.....	44
Tabela 3.1 - Linhas que percorrem o trecho em análise por toda a sua extensão nos respectivos anos	64
Tabela 3.2 - Volume de Veículos na Av. Radial Leste	65
Tabela 3.3 - Tempo de percurso total e de retardamento (em minutos) para a rota 7G da Av. Radial Leste	68
Tabela 3.4 - Velocidades médias dos ônibus	73
Tabela 3.5 - Pontos de referência na Pesquisa de Monitoração da Fluidez, CET	77
Tabela 3.6 - Evolução da velocidade média dos veículos em geral para o trecho estudado	77
Tabela 3.7 - Data das medições da CET	77
Tabela 3.8 - Evolução do fluxo de tráfego dos automóveis	79
Tabela 3.9 - Fluxo de tráfego em relação ao ano anterior.....	79
Tabela 3.10 -Quantidade de fretados ao longo dos anos, retirada da Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET	80
Tabela 3.11 - Percentual de fretados em relação ao ano anterior.....	81
Tabela 4.1 – Composição do volume de tráfego	90
Tabela 4.2 – Tempos do ciclo semaforico	91
Tabela 4.3 – Linhas de ônibus e seus headways.....	91
Tabela 4.4 – Resultados da parametrização	92
Tabela 4.5 – linhas nas quais foi aplicado o skip-stop	95
Tabela 4.6 – Exemplo de saída dos dados, disponível pelo software VisSim	97
Tabela 4.7 – Exemplo de saída dos dados, disponível pelo software VisSim	98
Tabela 4.8 – Resultados para o sentido bairro - centro.....	99
Tabela 4.9 – Resultados para o sentido centro - bairro.....	99
Tabela 7.1 - Linhas de ônibus e suas respectivas utilizações da Radial Leste	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
APTA	American Public Transportation Association
AVL	Automatic Vehicle Location
BRT	Bus Rapid Transit
CET	Companhia de Engenharia de Tráfego
CEU	Centro de Educação Unificado
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
FATEC	Faculdade de Tecnologia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBL	Intermittent Bus Line
ITS	Intelligent Transportation System
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbano
PAC	Programa de Aceleração ao Crescimento
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIURB	Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras
SMT	Secretaria Municipal de Transportes
SPObras	São Paulo Obras
SPTrans	São Paulo Transporte
UTM	Universal Transversa de Mercator
VLT	Veículo Leve sobre Trilhos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E PANORAMA	14
1.2	OBJETIVOS.....	15
1.3	JUSTIFICATIVA	15
1.4	METODOLOGIA.....	16
2	EMBASAMENTO TEÓRICO	18
2.1	FORMAS DE PRIORIZAÇÃO DO VEÍCULO PÚBLICO	18
2.1.1	Faixas exclusivas e corredores de ônibus	18
2.1.2	BRT	19
2.2	SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE	22
2.3	FERRAMENTAS ITS APLICÁVEIS AO BRT E ÀS FAIXAS EXCLUSIVAS DE ÔNIBUS.....	23
2.3.1	Ferramentas ITS para o usuário	24
2.3.2	Ferramentas ITS para o veículo	28
2.4	RECOMENDAÇÕES VIÁRIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE FAIXAS EXCLUSIVAS DE ÔNIBUS.....	35
2.4.1	Principais elementos de uma faixa exclusiva de ônibus	35
2.4.2	Configurações para a implantação de faixas	36
2.5	RECOMENDAÇÕES VIÁRIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE BRT.....	42
2.5.1	Separação de faixas.....	43
2.5.2	Seções transversais típicas de BRT's	44
2.5.3	Tipos de via e o BRT.....	44
2.5.4	Opções para vias estreitas	45
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
3	ESTUDO DE CASO: RADIAL LESTE	53
3.1.1	Sobre a via.....	53
3.1.2	Características físicas da via	56
3.2	DESCRIÇÃO DO TRECHO DE TRABALHO	61
3.2.1	Justificativa para a escolha do trecho.....	61
3.2.2	Trecho de trabalho	62
3.2.3	Linhas de ônibus	63
3.3	PESQUISA DE MONITORAÇÃO DA FLUIDEZ	64
3.3.1	Volume e composição dos veículos.....	65
3.3.2	Velocidade, tempo de deslocamento e tempo de retardamento	67
3.4	ANÁLISE DOS DADOS.....	70
3.4.1	Dados da SPTrans.....	70
3.4.2	Dados da CET	76
3.5	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS VELOCIDADES DOS ÔNIBUS E DOS DEMAIS VEÍCULOS.....	83
4	SIMULAÇÃO	87
4.1	O QUE É O VISSIM E COMO FUNCIONA.....	87
4.2	O QUE FOI SIMULADO	87
4.3	SIMULAÇÃO.....	89
4.4	RESULTADOS	96
4.5	SUGESTÕES PARA MELHORAR O DESEMPENHO DO BRT	106
5	CONCLUSÕES	109

6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
7	ANEXOS	114

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PANORAMA

O crescimento acelerado e sem planejamento das grandes cidades pode ser apontado como uma das principais causas para os elevados índices de congestionamento encontrados nos centros urbanos. Não obstante, o baixo investimento em infraestrutura e transporte público serve como incentivo à circulação de veículos, agravando ainda mais o problema, que se tornou um dos maiores desafios para a engenharia de tráfego.

Os órgãos de planejamento e gestão de transporte estão constantemente em busca de alternativas para a melhoria do transporte em massa, seja investindo em novas estruturas ou adaptando as já existentes. Nesse aspecto, faixas exclusivas de ônibus e o sistema Bus Rapid Transit (BRT) vem sendo apontados como tendência, considerando que apresentam baixo custo de implantação e reduzido tempo de construção, se comparado aos outros sistemas de transporte coletivo.

Aliadas a essas alternativas estão as ferramentas dos Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), que contribuem de maneira significativa para a melhoria da eficiência operacional dos transportes.

Um exemplo notório desse contexto é o trânsito da cidade de São Paulo, o qual há muito tempo vem atingindo patamares de saturação, nos horários de pico, cada vez maiores. Segundo dados do DETRAN¹, em abril de 2015, a cidade estava prestes a ultrapassar a marca de 8 milhões de veículos, sendo 71% automóveis.

Em função disso, a Prefeitura e a Secretaria de Transportes vêm adotando uma série de medidas visando melhorar a mobilidade urbana, abordando principalmente: a democratização do espaço viário; a prioridade aos pedestres; aos modos não motorizados e ao transporte público coletivo; a garantia do abastecimento e a circulação de bens e serviços; a redução do tempo médio das viagens; a ampliação do uso do transporte coletivo na matriz de transporte da cidade; a redução nas emissões de poluentes; entre outros.

Faixas exclusivas e corredores de ônibus têm sido largamente implantados nas cidades brasileiras e são considerados a principal iniciativa adotada para

¹ Disponível em:

<http://www.detran.sp.gov.br/wps/portal/portaldetran/detran/estatisticatransito/>. Acesso em 12 jun 2015.

fornecer prioridade ao transporte público, uma vez que a extensa e complexa malha viária pode ser aproveitada sem a necessidade de investimentos substanciais.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho dedica-se a averiguar e simular a forma de priorização à circulação de ônibus num trecho diferenciado na cidade de São Paulo, por meio da utilização de faixas exclusivas ou do modelo BRT integrado a elementos de ITS. Para tal, é analisada a operação dos ônibus que trafegam, diariamente, na Avenida Radial Leste, desde 2011 em faixas exclusivas (à direita), e futuramente num corredor (central) tipo BRT. Para tal, foi escolhido um trecho da Avenida Radial Leste (Rota 7G, da CET/SP), com capacidade de abrigar um BRT, que servirá como estudo de caso. É analisada a mudança da alteração da faixa da direita para o corredor central e a viabilidade e os possíveis ganhos com a aplicação de ferramentas ITS.

Ademais, existe uma carência de informações na literatura brasileira atual com relação aos custos e benefícios associados aos elementos ITS no transporte público: tanto o Manual de BRT do Governo Federal (BRASIL, 2008) quanto o Manual sobre Faixas Exclusivas da NTU (2013) abordam características de projeto (viário) que não contemplam elementos ITS. Tendo isso em vista, um objetivo complementar, desse trabalho, também consiste em agregar novas informações à literatura a respeito da integração entre sistemas de prioridade ao ônibus com tecnologias ITS.

1.3 JUSTIFICATIVA

Em 2014, São Paulo ocupava a posição de sexta maior metrópole do mundo, com 20,7 milhões de habitantes (United Nations²), e apresentava uma densidade populacional de 7.387,69 hab/km² (Censo 2010: IBGE³), o que acarreta em muitos deslocamentos diários.

² Disponível em: <http://qz.com/233334/almost-all-of-the-worlds-biggest-cities-will-be-in-asia-and-africa-by-2030/>. Acesso em 12 jun 2015.

³ Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=35&dados=21>. Acesso em 12 jun 2015.

Característica comum aos grandes centros urbanos, o trânsito de São Paulo se encontra numa situação crítica. As grandes avenidas, por serem rotas de acesso a diversas regiões e ligarem pontos importantes, se encontram em quase permanente congestionamento, com velocidades de tráfego baixíssimas durante os horários de pico, uma vez que não foram projetadas para suportar essa quantidade exorbitante de veículos.

O transporte público é deficitário e não atende à demanda e às exigências da população.

O estudo de caso será realizado no trecho inicial da Av. Radial Leste, por este representar um dos trajetos mais volumosos e diferenciados da cidade. A via apresenta características de fluxos de veículos e linhas de ônibus que viabilizam intervenções de prioridade ao transporte público coletivo, como será mostrado no tópico 4, como a adoção de faixas/corredor de ônibus. Além disso, a rota apresenta características que justificam e incentivam a implantação de um BRT: avenida larga nos dois sentidos, canteiro central que pode ser adequado ao propósito, proximidade aos sistemas da CPTM e do METRÔ, garantindo possibilidade de integração com outros modais.

1.4 METODOLOGIA

A metodologia desse estudo consiste em duas fases distintas.

A etapa inicial consiste em angariar o máximo de informações a respeito das tecnologias e funcionalidades ITS existentes para corredores de ônibus, seja em faixas exclusivas, seja em BRTs. A partir disso, foi escolhido um caso real para estudo, juntamente com a obtenção de dados a respeito do local, para que seja possível justificar e verificar a viabilidade de implantação, tanto do corredor, quanto de elementos de ITS.

A segunda fase refere-se à simulação da proposta por meio do software VisSim, simulador de tráfego bastante reconhecido e utilizado por profissionais da área. Primeiramente, foi necessária a definição de uma forma de operação a ser adotada pelo sistema e, em seguida, foi realizada a calibração do simulador para representar a realidade da maneira mais fiel possível. Por fim, foram simuladas a implantação do corredor central e a aplicação de determinadas alternativas de ITS no trecho estudado.

Além disso, foram estimados os ganhos no desempenho das demais alternativas não simuladas (devido a incompatibilidade com o simulador), por meio de estudos já existentes, como o Relatório Técnico dos Serviços Pré-embarque⁴, da SPTrans, realizado em 2005, que compara o tempo de embarque de passageiros com o pagamento da passagem na catraca dentro do coletivo ou na catraca instalada fora do coletivo, na área de pré-embarque.

⁴ Disponível em:

http://www.sptrans.com.br/pdf/biblioteca_tecnica/RELATORIO_TECNICO_PREEMBARQUE.pdf. Acessado em 12 jun 2015.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 FORMAS DE PRIORIZAÇÃO DO VEÍCULO PÚBLICO

Nesta seção são descritas as alternativas de priorização do transporte público sobre os veículos particulares, seja com alterações físicas na via, seja com aplicação de ferramentas de ITS para a melhoria da performance dos ônibus.

2.1.1 Faixas exclusivas e corredores de ônibus

A faixa exclusiva é um dos tipos mais comuns de intervenção utilizada como separação parcial do fluxo de tráfego. São adotadas para fornecer prioridade ao transporte público em detrimento do transporte individual, eliminando ou reduzindo a interferência causada por outros veículos.

Alguns elementos principais devem ser implantados para a caracterização de uma faixa exclusiva, são eles: faixa contínua de sinalização horizontal; faixa não contínua de sinalização horizontal (espaço em que os veículos particulares podem realizar conversões); ondulação transversal (tachão) para inibir a invasão do espaço; placa de sinalização vertical; radar eletrônico; recuo de parada de ônibus (embarque/desembarque sem interferência no fluxo da faixa exclusiva).

Segundo a publicação “Faixas de Ônibus Exclusivas – Experiências de Sucesso”, da NTU (2013, p.9), os objetivos das faixas exclusivas estão relacionados a:

- Garantir prioridade no sistema viário ao transporte coletivo;
- Aumentar a velocidade operacional dos ônibus;
- Diminuir o tempo do passageiro dentro do veículo;
- Impactar positivamente nos deslocamentos individuais;
- Permitir maior fluidez na circulação viária para os ônibus;
- Disponibilizar a informação aos usuários, monitoramento e reeducação;
- Racionalizar a operação com a otimização da frota;
- Aumentar a produtividade do transporte público sobre pneus;
- Reduzir os custos do transporte público e, conseqüentemente,
- Contribuir para a modicidade tarifária;
- Facilitar a integração com os outros modos de transporte;

- Compartilhar os espaços da cidade de forma justa e racional.

As faixas exclusivas apresentam diversas vantagens em relação a outros tipos de intervenção. Podem ser destacadas: o curto prazo (1 a 6 meses) e o baixo custo (100 mil a 500 mil reais por quilômetro) para implantação; redução no tempo de viagem (até 40%), no consumo de combustíveis (até 30%) e na emissão de poluentes (até 40%); atendimento imediato das expectativas dos usuários e o fato de não haver necessidade de desapropriação (NTU, 2013).

As diferenças entre faixas e corredores de ônibus consistem em:

- Corredores de ônibus são destinados à circulação exclusiva dos coletivos em período integral; possuem paradas maiores e são instalados à esquerda; para que não exista compartilhamento com os veículos que vão fazer conversão nos cruzamentos;
- Faixas de ônibus têm período e horário de ativação variando de acordo com cada local e são regulamentadas com placas instaladas ao longo de cada trecho; são instaladas à direita da via.

Recomendações, com um maior detalhamento, das características necessárias à implantação das faixa e corredores BRT estão citadas nos itens 2.4 e 2.5.

2.1.2 BRT

Mais conhecido como *Bus Rapid Transit* ou Transporte Rápido por Ônibus, é um sistema alternativo de transporte coletivo de passageiros de média capacidade, baseado na utilização do ônibus em faixas segregadas. O sistema combina a capacidade e a velocidade do VLT (Veículo leve sobre trilhos) ou do metrô, com a flexibilidade e o baixo custo de um sistema de linhas de ônibus convencional.

O conceito de BRT não apresenta uma definição precisa, uma vez que o sistema pode abrigar uma enorme gama de características, mas nem todas precisam ser implantadas. A escolha das aplicações em um BRT depende de inúmeros fatores, que envolvem: preferências locais e culturais, população total, densidade populacional, distribuição de viagens, clima, geografia, topografia, recursos financeiros e até mesmo interesses políticos (BRASIL, 2008, p.14).

No entanto, é possível destacar um grupo de atributos que se aplicam à grande maioria dos BRTs e que apresentam altos índices de aprovação e efetividade. São

eles (Figura 2.1):

- Vias segregadas ou faixas exclusivas na maioria da extensão do sistema (com preferência para duas faixas exclusivas, possibilitando as ultrapassagens);
- Estações que oferecem acesso em nível entre a plataforma e o veículo, tornando o embarque mais rápido;
- Localização das vias de ônibus no canteiro central, em vez de ao lado das calçadas (o que elimina a entrada de veículos que realizam conversões nas faixas destinadas aos ônibus);
- Cobrança e controle de tarifas antes do embarque (reduz o tempo de embarque e acomoda melhor os passageiros);
- Estações especiais e terminais para facilitar a integração física entre linhas troncais, serviços alimentadores e outros sistemas de transporte de massa;
- Integração física e tarifária entre linhas, corredores e serviços alimentadores;
- Tecnologias veiculares de baixa emissão (Euro 3 ou maior);
- Sistema de gerenciamento através de centro de controle centralizado, utilizando aplicações de Sistemas de Transporte Inteligentes (ITS), tais como localização automática de veículos (AVL);
- Mapas de linhas, sinalização e/ou painéis de informação em tempo real dentro das estações e/ou dos veículos;
- Acessibilidade universal;
- Múltiplas posições de paradas nas estações.

Figura 2.1 - BRT de Bogotá e suas principais características em destaque



Fonte: railforthevalley.wordpress.com, 2009; editado pelos autores

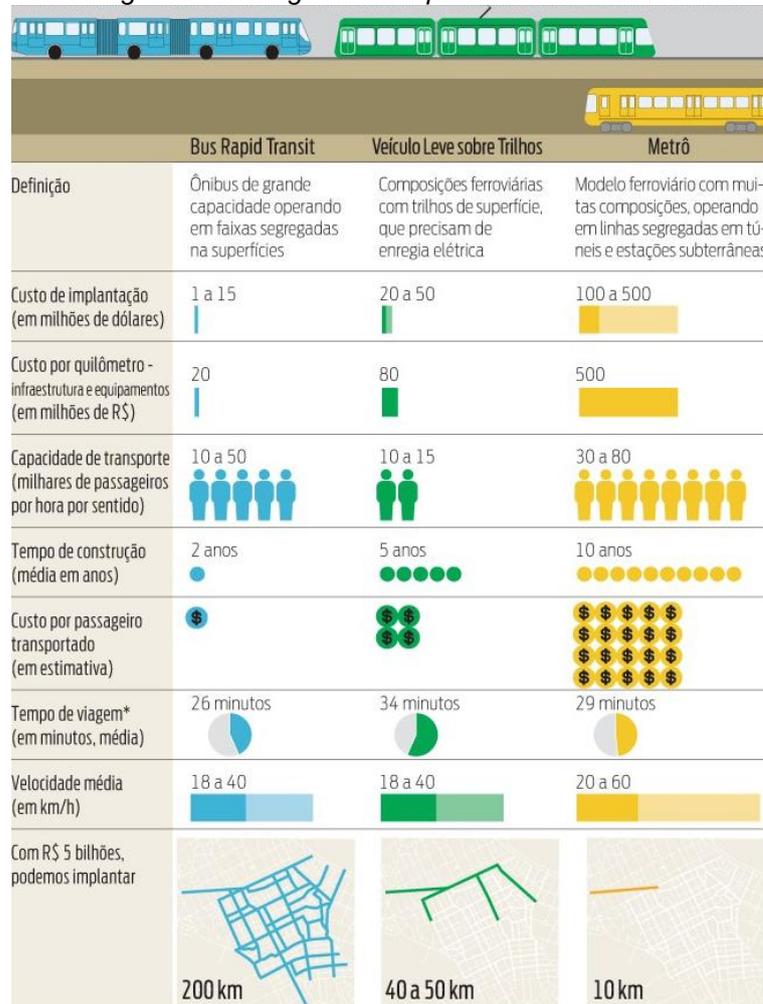
Uma importante vantagem do BRT em relação aos outros modelos de transporte em massa é que sua implementação se dá em um curto período, cerca de 1 a 3 anos após a concepção - em geral, seu planejamento varia de 12 a 18 meses (BRASIL, 2008, p.2). Além disso, diferentemente dos outros modos de média capacidade, o BRT pode ser implantado gradualmente.

Outro aspecto vantajoso do BRT é o fato de permitir uma grande permutação de itinerários, bem como a possibilidade de configuração do sistema para serviços expressos e serviços de paradas reduzidas, garantindo reduções significativas no tempo de viagem.

Não obstante, tanto o custo de infraestrutura e equipamentos por quilômetro de um sistema BRT quanto o custo por passageiro transportado são significativamente menores que o das demais alternativas (dependendo da complexidade e tamanho da cidade), como apontado no infográfico abaixo (Figura 2.2), elaborado pelo Jornal Gazeta do Povo com informações do Guia de Mobilidade Inteligente da Volvo. Segundo esse levantamento, tais indicadores de custo seriam aproximadamente 4 vezes inferiores aos equivalentes para o VLT e entre 20 e 25 vezes inferiores aos do

metrô.

Figura 2.2 - Infográfico comparativo entre modais



*conta tempo de acesso à estação, viagem de 10 km e acesso à rua.

Fonte: Gazeta do Povo / Guia de Mobilidade Inteligente da Volvo

O infográfico ratifica a vantagem comparativa no tempo médio necessário para implantação, de 2 anos para o BRT, 5 anos para o VLT e 10 anos para o metrô. Além disso, o BRT apresenta o menor tempo médio de viagem em relação aos demais modais (26 minutos para o BRT contra 29 minutos para o metrô e 34 minutos para o VLT).

2.2 SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE

Os Sistemas Inteligentes de Transporte, também conhecidos como ITS (Intelligent Transport Systems), consistem na aplicação da tecnologia da informação para melhoria da eficiência no transporte e trânsito (desempenho, qualidade, segurança), tanto para a gestão de informações como para automatização de processos.

A implantação de ferramentas ITS está diretamente relacionada à estratégia de realizar um planejamento adequado para garantir uma operação rentável e sustentável. As metas esperadas com a aplicação envolvem: racionalização dos investimentos, redução de custos operacionais, melhoria do desempenho do sistema de gerenciamento de transporte urbano e atenuação dos impactos ambientais.

Um projeto de ITS bem executado pode gerar diversos benefícios operacionais, como: menor duração dos deslocamentos, aumento da capacidade e do fluxo, elevação do nível de satisfação dos usuários, melhor segurança, redução dos poluentes, menor ocorrência de infrações de trânsito nas rodovias, entre outros.

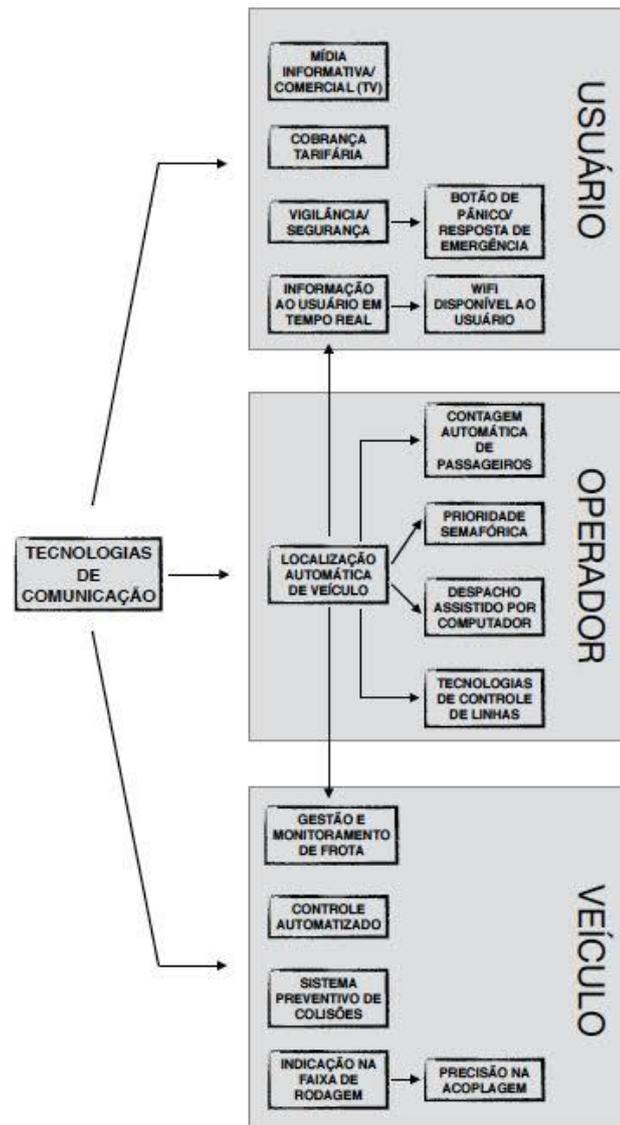
Os Sistemas Inteligentes de Transporte englobam nove áreas: os centros de controle multimodal e operações, os sistemas avançados de sinalização do trânsito, os sistemas de monitoramento e fiscalização remotos, o gerenciamento de estacionamento, o gerenciamento de incidentes de tráfego, respostas de emergência, pagamento eletrônico, precificação dinâmica e informações do usuário em tempo real (ANTP, 2012, p.12).

2.3 FERRAMENTAS ITS APLICÁVEIS AO BRT E ÀS FAIXAS EXCLUSIVAS DE ÔNIBUS

O documento de práticas recomendadas norte-americanas (APTA, 2010), elenca diversas ferramentas ITS aplicáveis especificamente em BRT, porém esses elementos também podem ser aplicados a faixas exclusivas de ônibus, separando-as em 3 (três) vertentes basilares: usuário, veículo e operador.

As ferramentas apresentadas na figura 2.3 estão baseadas, primordialmente nos conceitos e análise trazidos pelo referido documento.

Figura 2.3 - Integração de elementos ITS



Fonte: APTA, 2010

2.3.1 Ferramentas ITS para o usuário

Esta seção descreve as tecnologias ITS que apresentam benefícios ao usuário, envolvendo questões relacionadas ao conforto, segurança e tomada de decisões em relação à viagem. As ferramentas citadas neste grupo ilustram tecnologias acessórias, que não necessariamente são objeto da simulação. O sistema de informações em tempo real e a cobrança desembarcada foram considerados na simulações.

2.3.1.1 Informação em tempo real

As informações precisam ser divulgadas em três momentos distintos: antes do embarque, durante a viagem e após o término da viagem.

Por meio de mídias acessíveis, antes da viagem, é necessário fornecer informações que auxiliem no planejamento e na tomada de decisão sobre qual meio de transporte utilizar.

Além disso, devem ser instalados painéis de mensagens variáveis (de LED ou material similar) nos pontos de embarque informando, principalmente, o tempo de chegada dos ônibus (Figura 2.4). Isso pode aumentar o conforto dos passageiros, uma vez que, caso o intervalo entre dois ônibus da mesma linha seja reduzido, o usuário pode optar por esperar o veículo mais vazio.

Também devem ser fornecidas informações dentro do próprio veículo, como avisos sonoros e visuais (automatizados, ou seja, sem a necessidade do condutor anunciar) de próxima parada, atualizações do trânsito e alertas de interrupção dos serviços (Figura 2.5).

Ao término da viagem devem existir avisos sobre transferências e chegada ao destino final.

Outras formas de promover informação ao usuário seriam: site de internet com itinerário; central telefônica de atendimento automático e aplicativos desenvolvidos para o planejamento da viagem (esse tipo de auxílio também pode ser encontrado em quiosques nas estações).

Esse tipo de serviço gera um nível de confiança e conforto aos usuários do sistema, considerando que as viagens ocorrerão de acordo com o planejado.

No entanto, para que essa expectativa seja atingida, as informações fornecidas devem ser precisas e fielmente atualizadas em tempo real, sendo essencial o sistema de localização automática de veículo (AVL).

Figura 2.4 - PMV na estação do BRT de Curitiba



Fonte: Cesar Brustolin/SMCS

Figura 2.5 - Painéis dentro de veículo em ônibus da capital paulista



Fonte: Fernando Pereira/Secom

2.3.1.2 Wi-fi disponível ao usuário

O fornecimento de internet sem fio pode ser gratuito ou mediante o pagamento de tarifa. Os roteadores podem ser tanto embarcados (no próprio veículo ou ao longo do corredor) como nas estações.

O acesso à internet sem fio não está diretamente relacionado à eficiência do transporte, contudo, eleva a qualidade do serviço e faz com que os usuários tenham uma percepção de que a viagem está mais curta, uma vez que se encontram entretidos, além de possibilitar o acesso a informações sobre a viagem em si.

2.3.1.3 Cobrança tarifária

Pode ser separada em algumas áreas:

- Modo de cobrança: dentre as opções estão os tíquetes, cartões magnéticos, cartões inteligentes (smart cards), etc.

- Venda: a passagem pode ser comprada por meio de métodos tradicionais, como cabines de atendimento nas estações, ou prioritariamente, por meio de máquinas de cobrança automática nos pontos de embarque.
- Comunicação: alguns dos métodos de cobrança exigem comunicação em tempo real para atividades como verificação do cartão de crédito e monitoração do status.
- Local da cobrança: pode ser feita no interior dos ônibus ou nas plataformas (cobrança desembarcada), sendo este último um modo de acelerar o embarque dos passageiros nos veículos.

É usual serem oferecidos bilhetes semanais/mensais, com o objetivo de diminuir o número de recargas e reduzir o tempo do usuário nas estações/veículos.

2.3.1.4 Vigilância/CFTV/Sistemas de segurança

Os sistemas de segurança incluem tanto câmeras de vídeo integradas como alarmes, instalados no próprio veículo, nas estações (Figura 2.6) ou ao longo do corredor.

Os alarmes incluem botões e barras de emergência ativados pelos passageiros e botões de pânico acionados pelo operador (Figura 2.7).

Mais uma vez, é importante a existência do sistema AVL para localização do veículo e comunicação com a central, para que o suporte seja enviado mais rapidamente.

O serviço, além de garantir eficiência no atendimento emergencial, proporciona mais conforto aos usuários, que se sentem mais protegidos contra vandalismo e furtos.

Figura 2.6 - CFTV nas estações do BRT de Curitiba



Fonte: Luan Henrique/URBS

Figura 2.7 - Botão de pânico para o condutor no BRT Rio



Fonte: Bom Dia Brasil, Rede Globo

2.3.1.5 Transit TV

Consiste em um ou mais painéis de *LCD (Liquid Crystal Display)* nas estações ou no interior do veículo que exibe propagandas, notícias, informações de trânsito, clima e eventuais alertas. Pode ser instalado um sistema de áudio integrado com a TV que funcione à base de rádio FM ou por meio de celulares.

Proporciona o entretenimento do usuário, que, mais uma vez, melhora sua percepção de qualidade e de duração da viagem.

2.3.2 Ferramentas ITS para o veículo

As ferramentas ITS expostas nessa seção se referem aos benefícios ao veículo, no sentido de facilitar sua condução e obter indicadores que possibilitem melhoria na sua performance. Algumas tecnologias aqui citadas, como o estacionamento preciso, foram consideradas na simulação, com o intuito de melhorar o tempo de embarque/desembarque dos passageiros.

2.3.2.1 Monitoramento/gerenciamento de frota

Permite uma visão geral de todos os ônibus. Os indicadores gravados são definidos pelos gerenciadores. A informação é armazenada no computador do veículo e o *download* é feito pelo sistema central. Usualmente esses dados não precisam ser em tempo real e o *download* pode ser feito ao fim do dia. Essas informações são utilizadas para confrontar indicadores de outros ônibus, rotas e assim por diante.

Alguns exemplos de indicadores medidos são: tempo de operação, distância percorrida, consumo de combustível, número de vezes em que a porta foi aberta, entre outros.

2.3.2.2 Sistema anticolisão

As tecnologias de prevenção de colisão podem ser divididas em: aquelas que simplesmente alertam o perigo ao condutor com base nos sensores internos e externos ao veículo; as que controlam parcialmente o veículo, como controle de cintos afivelados, ativação de freios e mudança de suspensão; e as que assumem o controle total do veículo.

Diversas tecnologias foram desenvolvidas, testadas e implementadas, enquanto muitas outras estão em desenvolvimento. São exemplos: sensores que detectam possíveis obstáculos, como animais, pedestres ou veículos se aproximando; notificações quando o veículo está saindo não intencionalmente da faixa/corredor; aviso ao se aproximar de uma curva com velocidade muito elevada; entre outras.

Contudo, um problema chave dos sistemas preventivos de colisão está no uso de algoritmos que emitem falsos alarmes ou não conseguem diferenciar um real perigo de ameaças triviais, como um carro parado devido a uma placa de sinalização.

2.3.2.3 Orientação das faixas

Trata-se de um sistema que fornece um *feedback* ao condutor para uma direção mais precisa. O sistema também pode garantir a condução do ônibus por meios computadorizados e mecânicos (o motorista ainda tem de frear e acelerar, mas o caminho é percorrido automaticamente, exceto em situações de emergência).

Dentre as tecnologias estão: direção guiada por rodas laterais de 4,5 a 6 polegadas (figura 2.8); orientação ótica; orientação magnética; orientação por GPS.

Um benefício desse sistema é que ele reduz a largura requerida para condução. Além disso, o nível de confiabilidade do serviço aumenta, uma vez que a direção não depende apenas da performance do condutor. No entanto, o sistema também tem limitações, como a velocidade máxima, que varia de 70 a 80 km/h.

Figura 2.8 - Direção guiada por roda lateral em Mannheim, Alemanha



Fonte: Martin Hawlisch

2.3.2.4 Estacionamento Preciso

É a capacidade do ônibus de se aproximar de uma plataforma por meio de mecanismos óticos, mecânicos ou algum outro modo de direção guiada; o objetivo é reduzir ao máximo o vão entre a porta do ônibus e a plataforma, permitindo o embarque e o desembarque mais seguro para pessoas com necessidades especiais, idosos e crianças. Os condutores podem cancelar o sistema a qualquer momento.

Os tipos de sistemas de estacionamento preciso são: 'Kassel Kerb' (figura 2.9), direção mecânica guiada por rodas laterais; orientação ótica (Figura 2.10); orientação magnética e barra de borracha de baixa fricção.

Figura 2.9 - Kassel Kerb



Fonte: Honza Groh

Figura 2.10 - Orientação ótica



Fonte: Siemens Optiguide

2.3.3 Ferramentas ITS para o operador

As ferramentas ITS aqui citadas são destinadas ao operador do sistema. Nesta seção também são encontradas tecnologias que terão suas aplicações analisadas e verificadas para o trecho estudado, na segunda etapa deste trabalho.

2.3.3.1 Localização Automática do Veículo

É aplicada para monitorar a localização dos veículos em tempo real por meio de GPS ou de outros métodos de localização. As informações sobre a localização do veículo são transmitidas para a central de controle via dados brutos ou processados.

Segundo informações do *FHWA (Federal Highway Association)*, o custo associado a implementação do sistema de localização automática foi cotado entre US\$1.000,00 a US\$10.000,00 por veículo em 2006 (APTA, 2010).

Dentre os benefícios, é possível citar: aperfeiçoamento do sistema de controle; melhoria na segurança (a resposta é enviada mais rapidamente em caso de emergência) e na qualidade (notificações aos passageiros em tempo real, informando a localização e tempo de chegada esperado para o próximo ônibus); aperfeiçoamento no sistema integração (transferência entre ônibus pode ser mais planejada e controlada sabendo a localização exata de cada veículo); redução da necessidade de comunicação por voz (simplifica o trabalho do operador); e análise posterior (armazenamento dos dados pode fornecer dados para uma análise de desempenho e comparação do horário programado com o tempo real).

2.3.3.2 Prioridade Semafórica

É o processo de alteração do tempo de semáforo nas intersecções para dar prioridade aos operadores de trânsito.

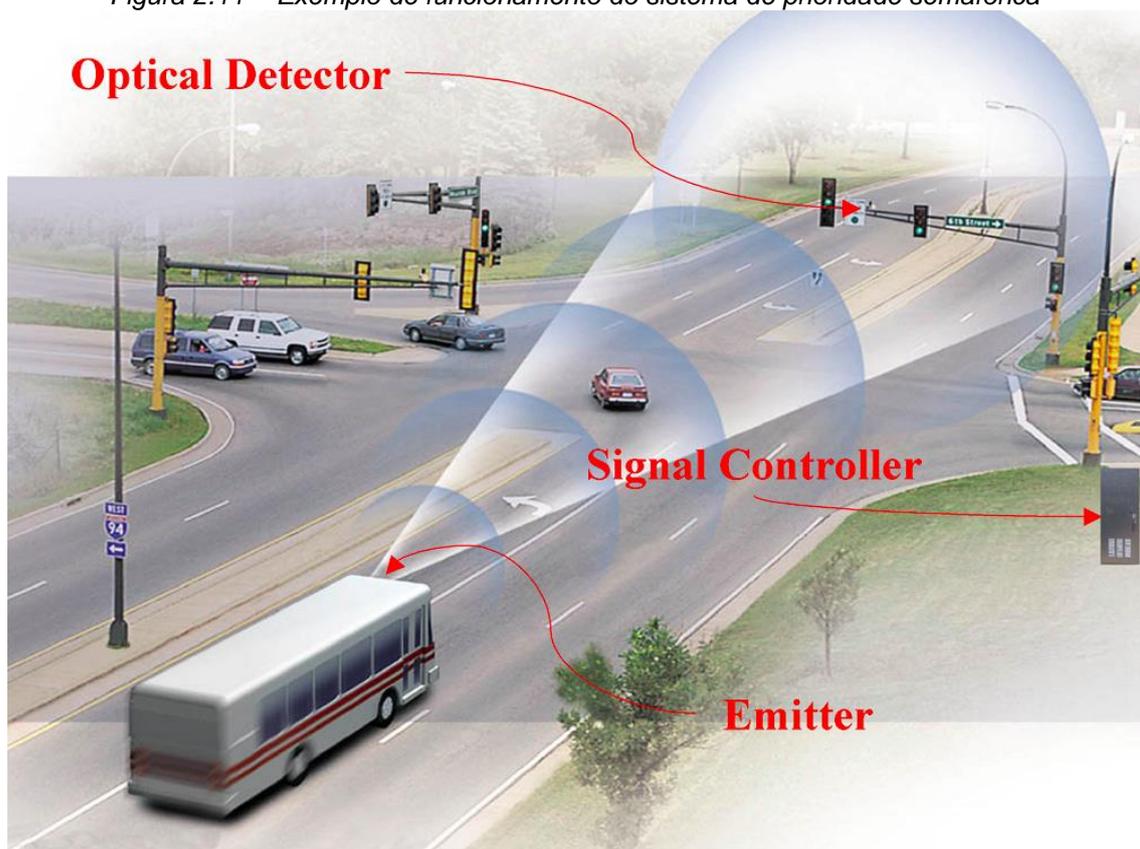
As estratégias de prioridade podem ser classificadas em: Prioridade Passiva, Prioridade Ativa ou Adaptativa (Condicional ou Incondicional).

A Prioridade Passiva consiste em ajustar a programação manualmente por meio de programas computacionais, dando maior peso às aproximações de veículos com maior volume de passageiros. Essa priorização pode ser conseguida com a extensão dos tempos de verde para o corredor de BRT ou faixa exclusiva de ônibus sobre as ruas transversais para que os ônibus não fiquem parados nos semáforos e, eventualmente, se atrasem. O próximo passo é verificar se os ciclos semaforicos nessas faixas podem ser encurtados.

Já a Prioridade Ativa altera as fases do semáforo quando se observa a aproximação de um veículo coletivo à intersecção, e depende da lógica do sistema e das condições do tráfego. O sistema deve ser capaz de detectar a presença de um veículo coletivo e prever o instante da sua chegada à intersecção. Para tanto, os ônibus devem ser equipados com dispositivos de identificação veicular como *transponders* (com ou sem código de identificação do veículo), antenas receptoras, GPS ou dispositivos similares (OLIVEIRA NETO, 2004, p.16). O sinal emitido por tais dispositivos é captado pelo detector ótico e a informação é enviada ao sistema de controle semaforico (Figura 2.11). As principais estratégias da prioridade ativa são: extensão do verde; antecipação do verde, interrupção do vermelho; supressão de estágios; e interrupção do verde (SUNKARI et al., 1995; ZHANG, 2001). Se o veículo de BRT é detectado durante a fase verde, e a fase verde está se aproximando da fase amarela, a fase verde é alongada. Se a detecção ocorre durante o intervalo de vermelho ou amarelo, a fase verde é retomada antes do tempo normal. (BRASIL, 2008, p.338).

Dentro da classificação de prioridade ativa, existem duas subclassificações: a prioridade incondicional (sem nenhuma restrição de variáveis de controle) e a condicional (garantida se condições predefinidas são satisfeitas, devendo-se estabelecer limites sobre variáveis controladas) (PERON, 2015, p.46).

Figura 2.11 - Exemplo de funcionamento do sistema de prioridade semafórica



Fonte: <http://sustainabletransportationholland.org/transit/transit-signal-priority/>

Os benefícios do TSP para BRT podem ser encontrados principalmente em: redução do tempo de viagem (estudos realizados na América do Norte e Europa revelam que o tempo foi reduzido em 2% a 18% (APTA, 2013), dependendo do tamanho do corredor); melhoria na confiança do serviço (reduz variações na programação horária dos ônibus); redução dos custos operacionais dos ônibus (diminuição do número de veículos necessários, uma vez que o tempo de viagem é reduzido).

2.3.3.3 Contagem Automática de Passageiros

Consiste em equipamentos instalados a bordo do ônibus usados para reconhecer o número de embarques e desembarques em cada parada e determinar constantemente a quantidade de passageiros no veículo. Uma unidade de contagem automática de passageiros inclui um sensor (geralmente infravermelho) nas portas para detectar movimentos para dentro e para fora do ônibus.

O sistema gera uma gravação eletrônica a cada parada, que inclui: localização do veículo, data e horário da parada, tempo de abertura e fechamento

das portas. Esses dados ajudam a gerar séries históricas que auxiliam no planejamento e remanejamento da rota/frota.

2.3.3.4 Despacho Assistido Por Computador

Trata-se de um sistema computacional utilizado por operadores que disponibilizam serviços de transporte sob demanda. Um exemplo de uso frequente desse sistema é o caso do transporte de pessoas com necessidades especiais.

2.3.3.5 Tecnologias de Controle das Faixas

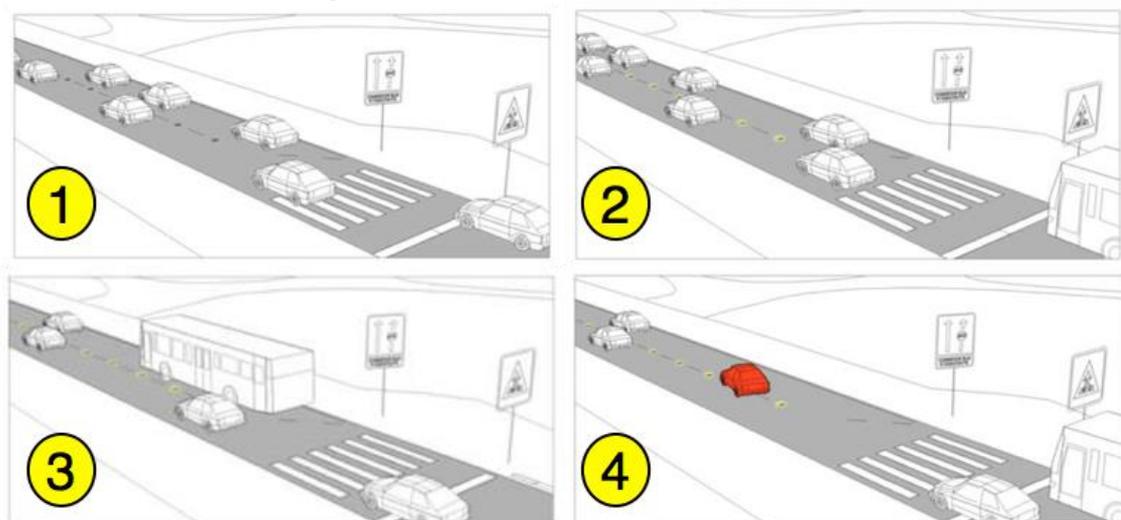
Uma faixa de ônibus intermitente (*IBL – Intermittent Bus Line*) é uma faixa restrita apenas por um curto período de tempo em que os ônibus passam por ali. Logo em seguida, a faixa é convertida para a utilização do tráfego em geral até que outro veículo precise de mais uma reversão.

Do ponto de vista operacional, a faixa intermitente é ativada apenas quando o tráfego geral está operando abaixo de uma velocidade que iniba o deslocamento contínuo do ônibus.

Essa tecnologia não possui custo elevado, uma vez que já existe a infraestrutura da pista disponível para recebê-la, e pode proporcionar ganhos de tempo significativos, dado que o ônibus consegue fluir independente do tráfego geral.

A ilustração 2.12 a seguir descreve o funcionamento do sistema:

Figura 2.12 - Sistema de Controle de Linhas



Fonte: Recommended Practice, Implementing BRT Intelligent Transportation Systems, APTA

- 1) IBL desligada: sinais de LED estão desligadas e qualquer veículo pode adentrar a faixa.
- 2) Ônibus se aproximando da IBL: as luzes de LED ficam piscando e os veículos comuns não podem mais adentrar à faixa.
- 3) Ônibus andando na IBL: as luzes de LED ficam piscando e carros ainda não podem adentrar na faixa; veículos à frente do ônibus e que já estão na faixa continuam seguindo.
- 4) Automóvel adentrando a IBL enquanto as luzes LED estão piscando: manobra proibida.

2.4 RECOMENDAÇÕES VIÁRIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE FAIXAS EXCLUSIVAS DE ÔNIBUS

2.4.1 Principais elementos de uma faixa exclusiva de ônibus

Segundo a publicação “Faixas de Ônibus Exclusivas – Experiências de Sucesso”, da NTU (2013, p. 10) as faixas exclusivas são constituídas de vários elementos simples, que juntos ajudam na eficiência da priorização do transporte público por ônibus. Esses elementos não precisam ser implantados simultaneamente, pois nem todos os casos são homogêneos, o que muitas vezes impossibilita a aplicação de algum elemento. Como mostrado nas figuras 2.13 e 2.14 os principais elementos são:

- Faixa contínua de sinalização horizontal: delimita o espaço viário dedicado à circulação do ônibus indicando a prioridade do transporte público;
- Faixa não contínua de sinalização horizontal: sinaliza no espaço viário a área que os veículos particulares podem utilizar para realizar conversões à direita;
- Ondulação transversal (tachão): é um elemento físico de dimensões reduzidas que serve como separador do espaço para o ônibus do tráfego misto e também como inibidor da invasão do espaço do transporte público;
- Placa de sinalização vertical: indica a proibição do uso da faixa do transporte público para outros veículos não autorizados;
- Radar eletrônico (pardal): equipamento eletrônico de fiscalização e autuação através da detecção da presença e utilização do espaço da faixa exclusiva por outros veículos que não sejam os ônibus; e

- Recuo (baia) da parada de ônibus: pequena modificação da via e do mobiliário urbano para que as operações de embarque e desembarque de passageiros dos ônibus possam ocorrer sem interferir no fluxo de veículos que utilizam a faixa exclusiva.

Figura 2.13 - Principais elementos da faixa exclusiva



Fonte: NTU, 2013

Figura 2.14 - Principais elementos da faixa exclusiva



Fonte: NTU, 2013

2.4.2 Configurações para a implantação de faixas

A NTU (2013, p. 13) apresenta cinco configurações distintas para implantação de faixas exclusivas de ônibus, que se diferenciam dependendo do tipo e das

características da via, da disposição local em alocar ou não espaço prioritário para os ônibus e da configuração do espaço urbano como um todo em que se pretende implantar a faixa.

Essas classificações foram organizadas considerando a classificação das vias existente no Código de Trânsito Brasileiro (CTB) (BRASIL, 1997), de acordo com a Tabela 2.1, e representam exemplos adaptáveis às diferentes situações possíveis de serem encontradas no sistema viário das cidades brasileiras.

Tabela 2.1 - Principais elementos da faixa exclusiva

Via de trânsito rápido	Caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível.
Via arterial	Caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade.
Via coletora	Destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade.
Via local	Caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas.

Fonte: NTU, 2013

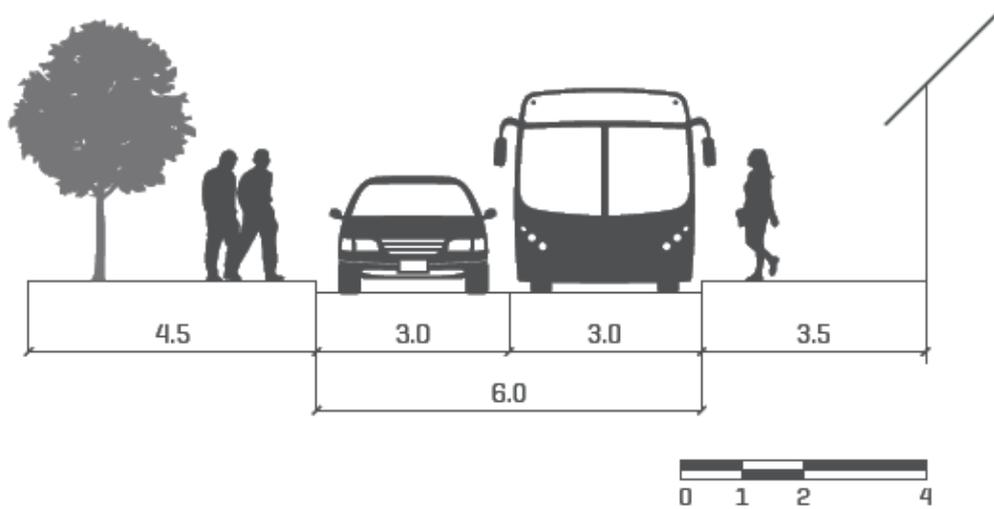
2.4.2.1 Configuração 1

Esta configuração foi pensada para vias locais com duas faixas de tráfego no mesmo sentido, situação muito característica por onde passam linhas alimentadoras que captam pessoas no transporte público por ônibus nos bairros.

O tráfego nessas vias, geralmente é misto, não existe priorização. A figura 2.15 representa essa situação junto com as calçadas, que também fazem parte da via. Com a implantação da priorização, a faixa de tráfego do lado direito da via é destinada exclusivamente para a circulação dos ônibus. Conforme apresentado na figura 2.16, essa faixa exclusiva não permite a ultrapassagem. Nessa situação, recomenda-se que os pontos de embarque e desembarque sejam projetados com uma baia, que usa o recuo da calçada para acomodação e estacionamento dos

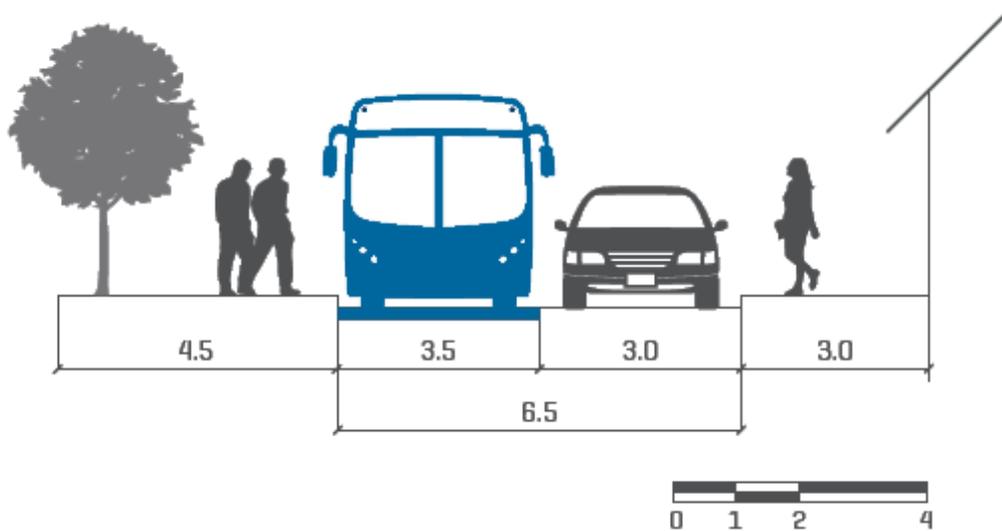
ônibus, além da operação de embarque e desembarque dos passageiros nos pontos de parada.

Figura 2.15 – Configuração 1: sem faixa exclusiva



Fonte: NTU, 2013

Figura 2.16 - Configuração 1: com faixa exclusiva



Fonte: NTU, 2013

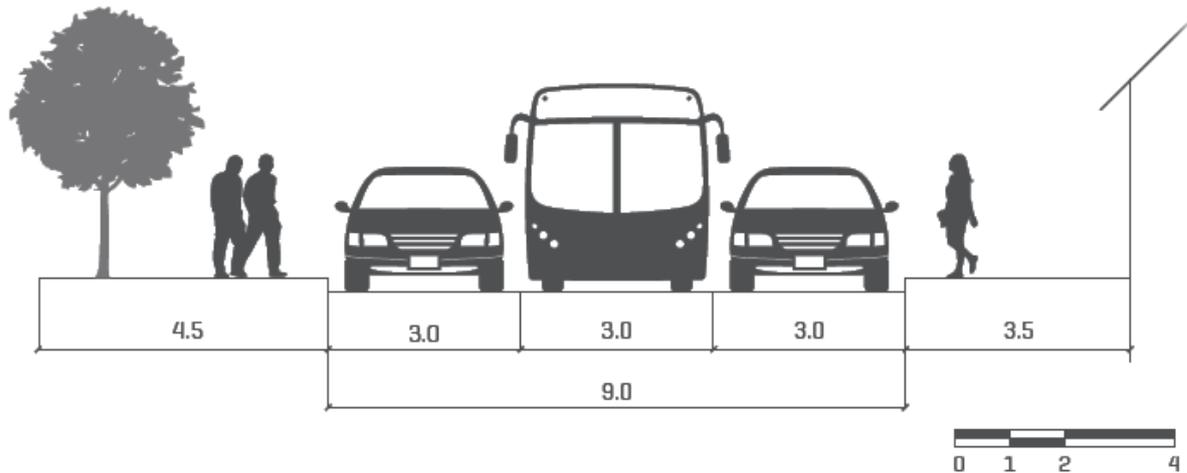
2.4.2.2 Configuração 2

Esta configuração foi pensada para vias coletoras com três faixas de tráfego no mesmo sentido, que captam o tráfego misto das vias locais e direcionam para vias de maior capacidade viária. A figura 2.17 mostra a configuração com tráfego misto, sem a priorização de ônibus.

Com a priorização, a faixa de tráfego do lado direito da via recebe o tratamento para a circulação dos ônibus do transporte público em toda a extensão,

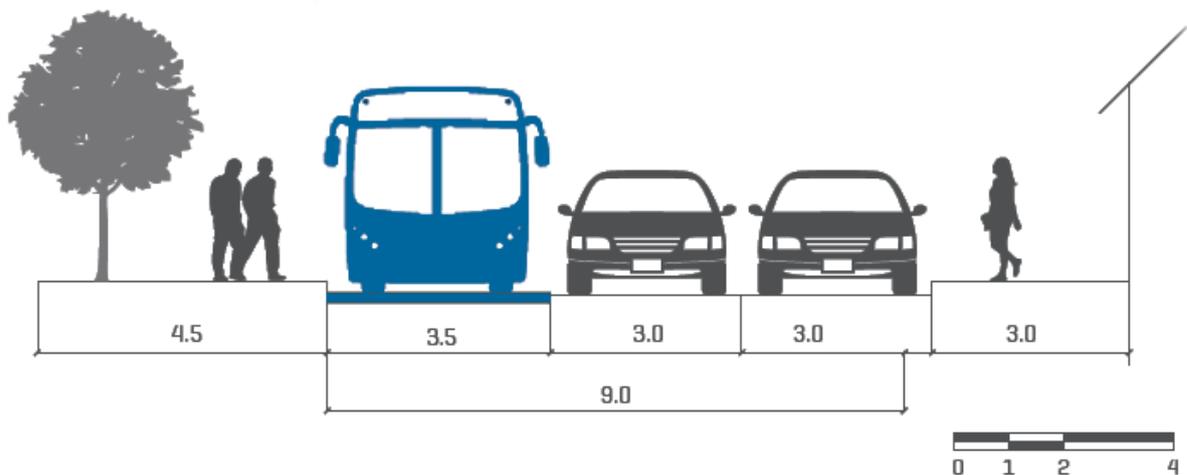
conforme figura 2.18. A faixa da direita não permite a ultrapassagem entre eles. Dessa forma, os pontos de embarque e desembarque devem ser projetados com uma baia proporcionada pelo recuo da calçada para acomodação e estacionamento dos ônibus, além da operação de embarque e desembarque dos passageiros nos pontos de parada.

Figura 2.17 - Configuração 2: sem faixa exclusiva



Fonte: NTU, 2013

Figura 2.18 - Configuração 2: com faixa exclusiva



Fonte: NTU, 2013

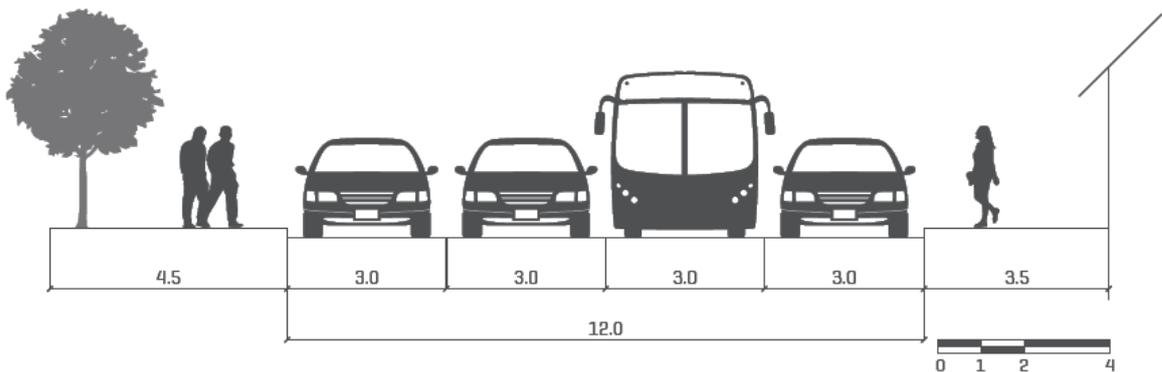
2.4.2.3 Configuração 3

Esta configuração foi pensada para vias com maior fluxo de veículos, como vias arteriais, onde se busca permitir maiores velocidades, com quatro faixas de tráfego no mesmo sentido. A figura 2.19 mostra a configuração com tráfego misto, sem a priorização de ônibus.

É altamente recomendado que, para que ocorra a priorização do transporte público por ônibus, as duas faixas de tráfego do lado direito da via recebam o tratamento para a circulação exclusivamente dos ônibus em toda a extensão, conforme figura 2.20. Portanto, essa alternativa é viável para vias da cidade que recebem grande número de linhas de ônibus, que gera uma grande frota de veículos e assim, ocasionalmente, ocorre a formação de comboios.

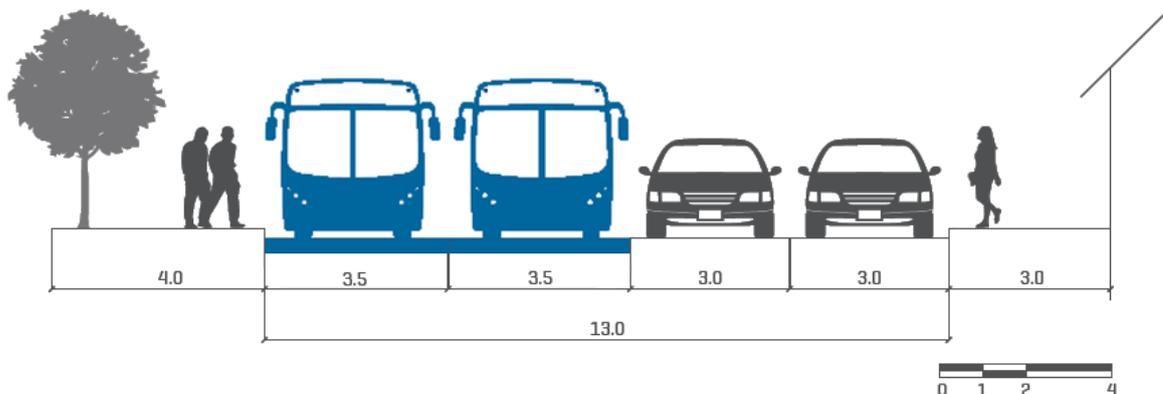
A presença de duas faixas exclusivas permite a ultrapassagem entre os ônibus durante o embarque e o desembarque dos passageiros, que gera um grande ganho operacional. Nesse sentido, pode-se optar por pontos de embarque e desembarque sem recuo para formação de uma baía de acomodação e de um estacionamento dos ônibus, o que significa menos gastos para o projeto.

Figura 2.19 - Configuração 3: sem faixa exclusiva



Fonte: NTU, 2013

Figura 2.20 - Configuração 3: com faixa exclusiva



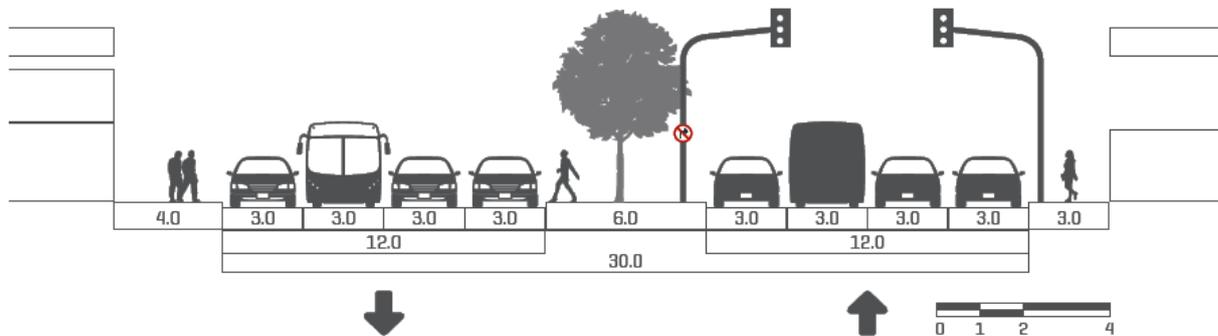
Fonte: NTU, 2013

2.4.2.5 Configuração 5

Essa configuração tem características similares à configuração 4. Aplica-se para vias de trânsito rápido com quatro faixas de trânsito nos dois sentidos e tráfego misto, com os ônibus e veículos particulares compartilhando o espaço viário, como mostra a figura 2.23.

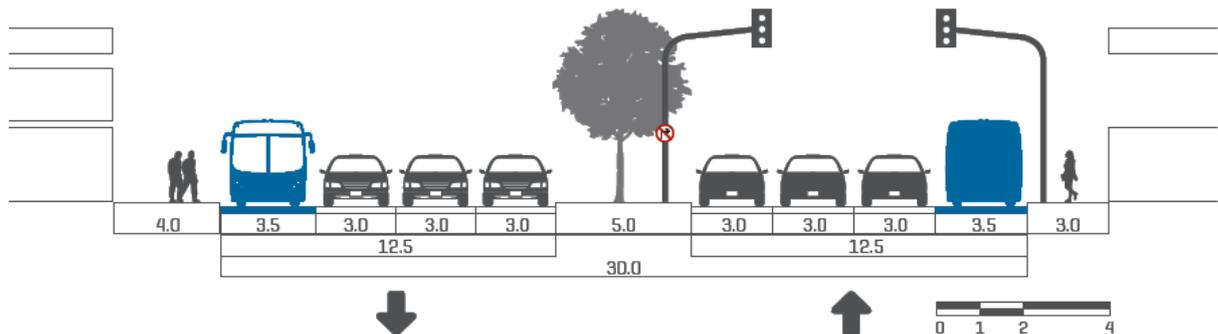
Na situação com priorização temos as duas faixas da direita, em cada sentido, destinadas ao tráfego exclusivo de ônibus, eliminando a necessidade de baia, como na solução anterior, diminuindo o custo de projeto. A figura 2.24 mostra essa situação.

Figura 2.23 - Configuração 5: sem faixa exclusiva



Fonte: NTU, 2013

Figura 2.24 - Configuração 5: com faixa exclusiva



Fonte: NTU, 2013

2.5 RECOMENDAÇÕES VIÁRIAS PARA IMPLANTAÇÃO DE BRT

Segundo BRASIL (2008), não existe uma solução correta para o projeto de infraestrutura do BRT. Este depende das circunstâncias locais, como condições climáticas e topológicas, estruturas de custo e preferências culturais. Além disso, o projeto físico e a engenharia do sistema decorrem diretamente das características operacionais de serviço ao usuário escolhidas.

2.5.1 Separação de faixas

A situação ideal é a separação física da faixa do veículo público das faixas mistas. Ainda que algumas vias de ônibus não sejam fisicamente separadas do tráfego misto, a maioria é separada por uma barreira física, que podem variar desde um canteiro todo jardinado, blocos separadores, cones, muros ou grades metálicas. O separador deve ser suficiente para impedir fisicamente a entrada de veículos particulares no tráfego misto na faixa de ônibus.

O uso de muro ou grades metálicas oferece maior proteção à faixa de ônibus, porém impede que os veículos do BRT desviem para a via mista em casos de emergência, ocasionando uma obstrução na faixa. Por isso é recomendado o uso de um separador que permita que os ônibus desviem para o tráfego misto e, ao mesmo tempo, desencoraje a entrada de veículos particulares na faixa. Uma saída é a utilização de guias arredondadas ao lado da faixa do BRT.

Importante que a resistência desses separadores seja robusta, a fim de evitar sua deterioração prematura, a qual pode incentivar a invasão de veículos particulares, criando situações perigosas e aumentando a probabilidade de acidentes, vide a figura 2.25.

Figura 2.25 - Com maior deterioração da separação, mais veículos invadem a faixa de ônibus



Fonte: BRASIL, 2008

A segurança dos pedestres e a estética também é importante para o BRT. A utilização de um canteiro mais largo é a situação ideal, pois é agradável visualmente e serve de abrigo para pedestres que estão atravessando a via.

2.5.2 Seções transversais típicas de BRT's

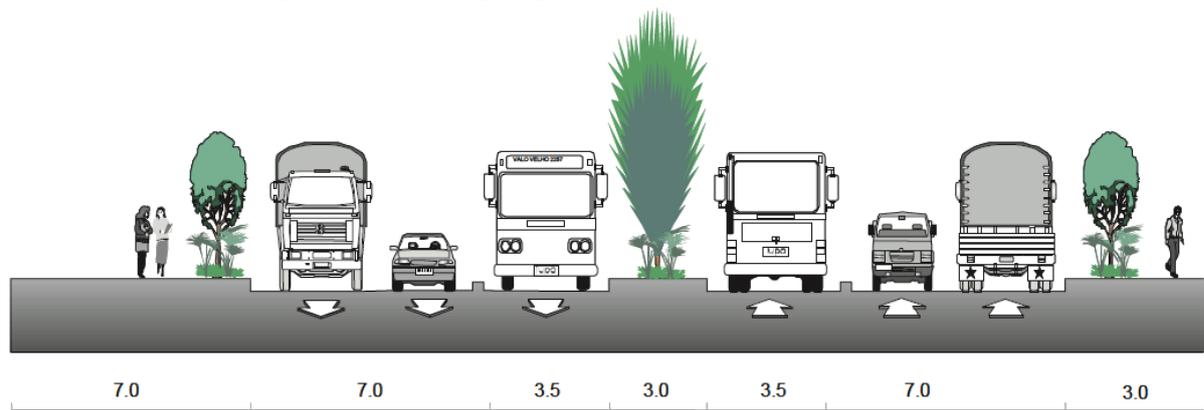
A tabela 2.2 mostra recomendações gerais para as larguras de faixa mínimas e a figura 2.26 mostra uma seção de BRT no canteiro central.

Tabela 2.2 - Largura mínima recomendada por sentido

Tipo de faixa	Largura mínima de faixa por sentido (m)
Calçada para pedestres	3
Ciclovia	2,5
Corredor de ônibus na estação	3
Corredor de ônibus fora da estação	3,5
Canteiro separador do corredor	0,5
Tráfego misto ao lado da calçada	3,5
Tráfego misto, outras posições	3
Largura da estação	3

Fonte: BRASIL, 2008

Figura 2.26 - Configuração de via típica para corredor BRT



Fonte: BRASIL, 2008

2.5.3 Tipos de via e o BRT

Ainda que sistemas BRT utilizem todos os tipos de ruas, corredores troncais são usualmente locados em vias arteriais principais, servindo os bairros principais de comércio e serviços e outros lugares populares, enquanto linhas alimentadoras (se houver) tenderão a servir arteriais secundárias e ruas locais.

BRTs são raramente colocados em autoestradas de acesso controlado primariamente projetadas para viagens entre cidades e geralmente difíceis de acessar.

Linhas troncais de BRT são usualmente localizadas em arteriais primárias pelos seguintes motivos:

- Densidades populacionais próximas de arteriais primárias são, normalmente, maiores.
- Vias arteriais principais tendem a servir viagens de médias e longas distâncias dentro da cidade, o ideal para BRT.
- Em países em desenvolvimento, apenas arteriais principais formam conexões claras e lógicas com outras arteriais principais para formar uma rede integrada.
- Vias arteriais principais tendem a ter maior concentração de linhas existentes de ônibus e vans.
- Vias arteriais também tendem a ter uma maior concentração de destinos principais como serviços e comércio.

Para vias estreitas, que normalmente ocorrem em vias locais ou coletoras, é necessário fazer algumas adaptações, como será visto a seguir.

2.5.4 Opções para vias estreitas

Áreas com larguras de vias estreitas, como bairros centrais de negócios e centros históricos, apresentam muitos desafios a desenvolvedores de BRTs. Essas áreas são destinos primários para muitos usuários, por isso devem ser inclusas na rede do sistema.

Existem dez soluções para esse problema:

- Corredor de ônibus no canteiro central e faixa única de tráfego misto
- Áreas de acesso restrito a transporte público
- Corredores divididos (dois serviços de um sentido em ruas paralelas)
- Uso do espaço do canteiro central
- Alargamento de vias
- Separação do nível (elevados e túneis)
- Guias fixas

- Operação em faixa única
- Estações escalonadas/estações alongadas
- Operação no tráfego misto

2.5.4.1 Corredor de ônibus no canteiro central e faixa única de tráfego misto

Essa solução assume que o corredor tenha disponível pelo menos 14 metros de largura da via, para veículos e mais um tanto apropriado para pedestres. É também necessário espaço adicional de pelo menos 2,2 metros nas áreas das estações. Um exemplo dessa solução se encontra em Rouen na França como mostra a figura 2.27.

Figura 2.27 - Exemplo com apenas uma faixa de trânsito misto, em Rouen (França)



Fonte: BRASIL, 2008

2.5.4.2 Áreas de acesso restrito a transporte público

Em casos de restrição do acesso a um segmento por apenas veículos de transporte público, durante o tempo de operação desses, cria-se a chamada alameda de transporte público. É uma solução para quando se tem apenas duas faixas disponíveis para espaço viário, ou seja, 7 metros de largura da via. Casos com apenas uma faixa em um sentido podem operar em vias com apenas 3 metros de largura, como na figura 2.28.

Figura 2.28 - Exemplo de alameda de transporte em Pereira



Fonte: BRASIL, 2008

2.5.4.3 Corredores divididos (dois serviços de um sentido em ruas paralelas)

Uma alternativa a alameda de transporte público é dividir o serviço por sentido em duas ruas, normalmente paralelas. Isso permite a permanência de uma faixa para tráfego misto. A figura 2.29 mostra um exemplo em Guayaquil.

Figura 2.29 - Exemplo de corredores divididos em Guayaquil, que utiliza uma configuração com o serviço em cada sentido acontecendo em uma rua paralela diferente



Fonte: BRASIL, 2008

2.5.4.4 Uso do espaço do canteiro central

Existem locais onde os canteiros centrais são generosos, e assim é possível aproveitá-los para a aplicação de uma faixa de BRT. Com isso não é necessário reduzir o número de faixas destinadas ao tráfego misto.

2.5.4.5 Alargamento de vias

É sempre uma alternativa a ser considerada, se no local existem terrenos sem uso ou a ocupação nas bordas do corredor proposto é de valor intrinsecamente baixo, então o alargamento da via é uma solução viável. Porém em distritos centrais ou históricos, alargar as ruas pode ser muito complicado, por razões políticas, financeiras e arquitetônicas.

2.5.4.6 Separação do nível (elevados e túneis)

BRTs enterrados ou elevados só fazem sentido quando a distância a ser vencida é pequena, caso contrário o custo da infraestrutura envolvido poderia viabilizar o financiamento de outro tipo de tecnologia de transporte público. A separação de nível em BRT's é recomendada quando existem:

- Rotatórias
- Interseções congestionadas
- Segmentos de áreas centrais densas
- Áreas ambientalmente delicadas

A figura 2.30 mostra a utilização de uma estrutura rodoviária elevada para evitar conflito com o tráfego misto na linha Yutorito em Nagoya, Japão.

Figura 2.30 - Em Nagoya, a linha Yutorito utiliza estrutura rodoviária elevada para evitar qualquer conflito com tráfego no nível da rua



Fonte: BRASIL, 2008

2.5.4.7 Guias fixas

Um veículo de BRT mede tipicamente 2,6 metros de largura e, sob condições normais de operação, são necessários aproximadamente 3,5 metros para o condutor manter seguramente a posição do veículo dentro da faixa de rolamento e 3 metros nas estações, já que o veículo deve parar bem próximo da plataforma. Porém, se o ônibus é restrito fisicamente por um mecanismo de guia, então uma faixa de 2,7 ou 2,8 metros já é suficiente. Esse sistema é usado em Adelaide, Bradford, Essen, Leeds e Nagoya como mostra a figura 2.31. Uma roda lateral de guia mantém a posição do veículo na faixa.

Assim, quando a redução, em cerca de 0,9 metros, de faixa é de grande valia, essa opção pode ser considerada. Ela traz também maior segurança na operação e maiores velocidades operacionais, porém é necessário maior custo de infraestrutura.

Figura 2.31 - A linha elevada de Nagoya utiliza um sistema de guia mecânico para reduzir a largura da via requerida



Fonte: BRASIL, 2008

2.5.4.8 Operação em faixa única

Em casos especiais, trechos curtos de via podem ser operados com uma única faixa para ambos os sentidos, em base alternada. Para isso é necessário um controle de tráfego especial. Essa opção foi estudada em Seul e Eugene.

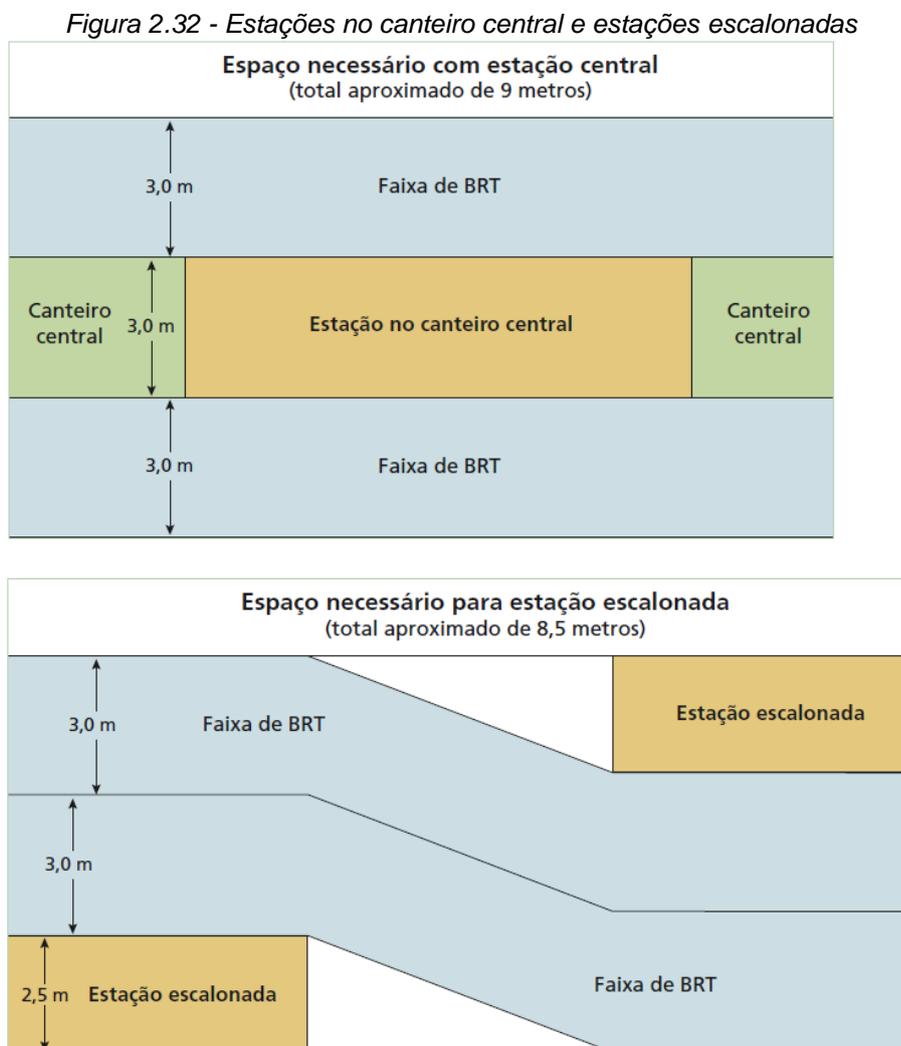
Ela é recomendada para pequenos segmentos de via, baixas frequências de ônibus e baixas demandas de passageiro.

2.5.4.9 Estações escalonadas/estações alongadas

O posicionamento físico das estações e as dimensões físicas das estações podem ser manipulados para reduzir a necessidade de largura.

2.5.4.9.1 Estação escalonada

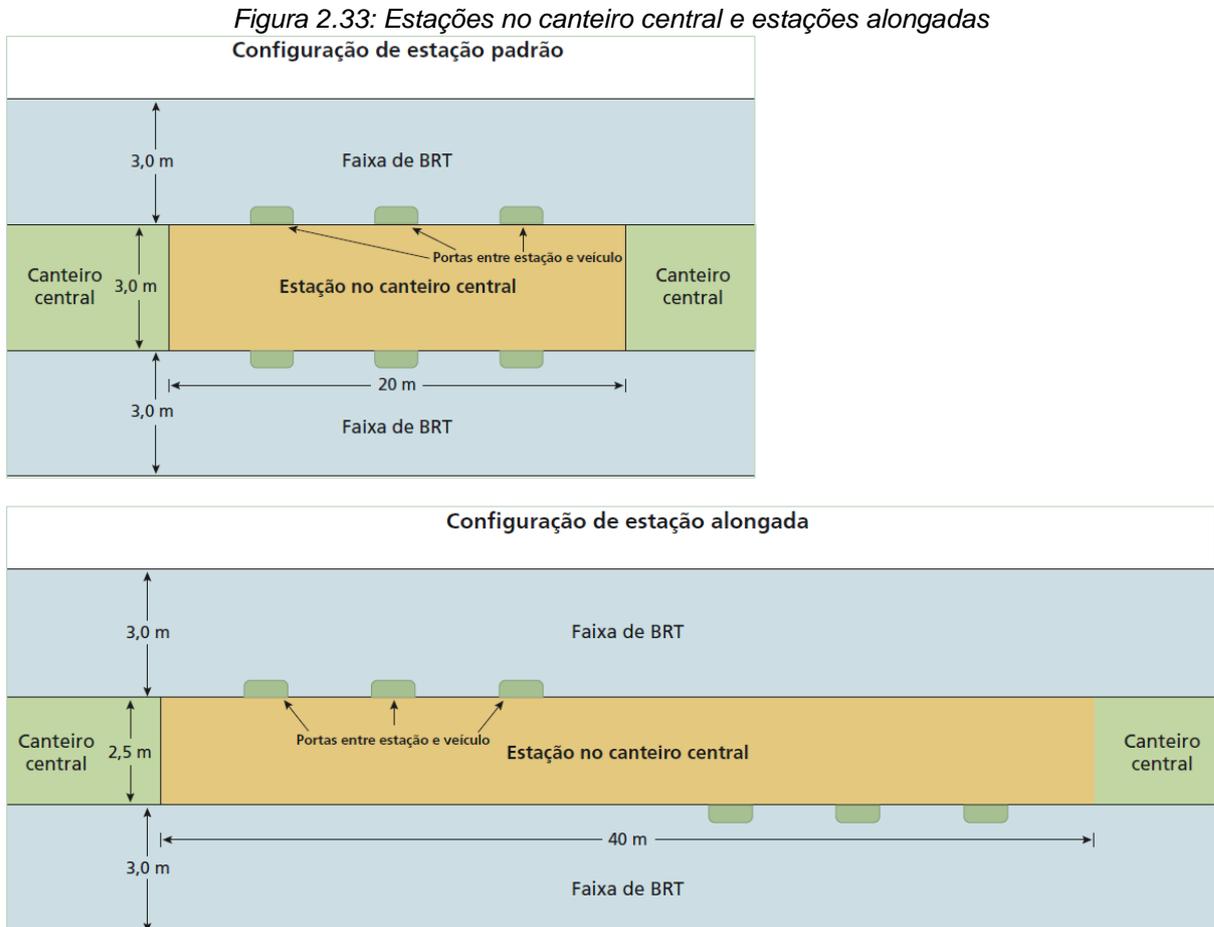
Pode-se dividir a estação no canteiro central, que atenderia aos dois sentidos em duas subestações, na qual cada uma atenderia a um sentido. O escalonamento irá fornecer economias marginais de espaço em termos de largura uma vez que cada subestação apenas acomodará metade dos passageiros. A figura 2.32 mostra as situações anterior e posterior à aplicação da estação escalonada.



Fonte: BRASIL, 2008

2.5.4.9.2 Estação alongada

Alternativamente a estação pode ser alongada e afastada as aberturas de cada sentido, como mostra a figura 2.33.



Fonte: BRASIL, 2008

2.5.4.10 Operação no tráfego misto

Talvez, como última opção para um espaço viário estreito, o BRT pode operar em tráfego misto em certos segmentos de corredor. Se o corredor não está congestionado e os futuros congestionamentos podem ser controlados, ou se a vontade política para restringir o acesso ao tráfego misto simplesmente não existe, então uma mistura passageira de veículos BRT no tráfego pode ser inevitável.

Porém se a ligação é congestionada, então essa escolha terá um impacto em detrimento dos tempos de viagem, do controle do sistema e da imagem geral do sistema.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Das alternativas apresentadas neste tópico, em especial as ferramentas ITS aplicáveis ao BRT e às faixas exclusivas, destacam-se algumas, já citadas anteriormente, que foram consideradas nas simulações.

Uma barreira na hora de estudar os elementos ITS com um software de simulação de tráfego é que os programas atuais não têm as ferramentas nem recursos necessários de simular os efeitos causados pela maioria dos elementos, pois estes possuem forte ligação com os usuários.

Como a Radial Leste, objeto de estudo neste trabalho, é uma via arterial com um fluxo de veículos elevado e muitas linhas de ônibus, como é detalhado posteriormente, a forma de priorização mais recomendada é o BRT, a qual possui as melhores características da priorização do veículo público.

3 ESTUDO DE CASO: RADIAL LESTE

Como relatado anteriormente, o local selecionado para estudo de caso é a Avenida Radial Leste.

As próximas seções destinam-se a um entendimento mais profundo da região e contêm uma série de análises relativas às velocidades dos ônibus e dos demais veículos em duas situações distintas:

- Ausência de faixa exclusiva (dados obtidos da CET/SPTrans até 2011);
- Presença de faixa exclusiva à direita (dados obtidos da CET/SPTrans de 2011 a 2014);

3.1 CONHECENDO A RADIAL LESTE

3.1.1 Sobre a via

Conhecida por ser o principal eixo viário da Zona Leste da cidade de São Paulo, a Radial Leste é constituída por seis avenidas e dois viadutos. A partir do centro da cidade, sentido bairro, os nomes de suas partes constituintes são: Avenida Alcântara Machado, Viaduto Alcântara Machado, Avenida Alcântara Machado, Viaduto Pires do Rio, Rua Melo Freire, Avenida Conde de Frontin, Avenida Antônio Estevão de Carvalho, Avenida Doutor Luís Aires e Avenida José Pinheiro Borges. Apesar de ser mais conhecido, a Radial Leste não é o eixo mais antigo. Antes de sua inauguração, os habitantes da Zona Leste utilizavam uma via paralela, a Avenida Celso Garcia, para chegar ao centro da cidade, onde trabalhavam. Com a inauguração da linha 3-Vermelha do Metrô, e consequentemente da Radial Leste, o eixo paralelo passou a ser menos utilizado.

Assim como a linha de Metrô que corre junto a ela, a Radial Leste foi inaugurada por trechos, sempre em direção aos bairros mais distantes. Hoje ela possui aproximadamente 21 quilômetros de extensão, iniciando no Parque Dom Pedro II até o CEU Jambiero, em Guaianases. Junto a ela, estão as estações Belém, Tatuapé, Carrão, Penha, Vila Matilde, Guilhermina-Esperança, Patriarca, Artur Alvim e Corinthians-Itaquera da linha 3-Vermelha do Metrô e as estações Tatuapé e Corinthians Itaquera da linha 11-Coral da CPTM.

Alternativamente ao Metrô e trens, pode-se percorrer a avenida utilizando ônibus como transporte público. No caso, há 34 paradas de ônibus no sentido centro-bairro e 27 no sentido bairro-centro. Essa diferença é devida ao muro de

divisa dos trilhos do Metrô, como pode ser visto na figura 3.1. Como não há possibilidade de se atravessar a pé diretamente, ou seja, não há passarelas para cruzar a via férrea, as paradas de ônibus estão, geralmente, próximas a viadutos, semáforos ou estações do Metrô, onde existe a travessia para o outro lado.

Dentre os inúmeros usos existentes na via, pode-se dizer que os logradouros da Radial Leste são exclusivamente comerciais até a Avenida Doutor Luís Aires. Na Avenida José Pinheiro Borges, embora o uso seja predominantemente comercial, podem ser encontradas algumas residências pela via. Há ainda três shoppings centers, quatro hospitais, três FATEC, um estádio de futebol e um CEU.

Figura 3.1 - Muro de divisa entre os trilhos do Metrô e a Radial Leste



Fonte: Google Street View (2015)

Recentemente, a avenida ganhou destaque por ser um dos principais modos de se chegar até este estádio de futebol, recém-construído para a Copa do Mundo de Futebol de 2014. Dentre as modificações previstas para o evento, a via ganhou nova sinalização vertical, com indicações para o estádio.

Nos horários de pico (entre 6h e 9h no período da manhã e entre 16h e 19h no período da tarde) funciona a faixa reversível no sentido de maior fluxo. Durante a manhã, no entanto, utilizam-se duas faixas do sentido oposto para o funcionamento desta operação, enquanto apenas uma é disponibilizada na volta para casa. Sendo assim, a avenida funciona com oito faixas no sentido bairro-centro e apenas quatro no sentido oposto no período da manhã, a partir da Avenida Aricanduva, e com sete faixas no sentido centro-bairro e cinco no outro sentido no período da tarde, até a estação Carrão do Metrô. As faixas reversíveis são utilizadas na Radial Leste desde 1977. As figuras 3.2 e 3.3 mostram o funcionamento das faixas nos dois horários.

Figura 3.2 - Funcionamento da faixa reversível no período da manhã, sentido bairro-centro



Fonte: Google Street View (2015)

Figura 3.3: Funcionamento da faixa reversível no período da tarde, sentido centro-bairro



Fonte: Google Street View (2015)

Antes da criação em massa de ciclovias, promovida pelo atual prefeito de São Paulo, Fernando Haddad, já havia na Radial Leste uma ciclovia, vindo desde a estação Corinthians-Itaquera até a estação Tatuapé. Esta ciclovia está entre as faixas para carros e o muro do Metrô. Existem projetos para a ampliação desta até o centro da cidade, criando outra alternativa à superlotação do Metrô e da enorme quantidade de carros que trafegam na avenida. A ciclovia pode ser vista na figura 3.4.

Figura 3.4 - Ciclovia na Radial Leste, próxima à estação Tatuapé



Fonte: Google Street View (2015)

3.1.2 Características físicas da via

No início da Radial Leste, próximo ao centro, a via possui seis faixas por sentido e conforme se avança sentido bairro, o número de faixas reduz, variando entre dois e três faixas por sentido até o final da avenida. Essa redução (no sentido centro-bairro, ou aumento no sentido bairro-centro) é justificável pelas interseções com outros eixos viários importantes, como a Avenida Aricanduva, próximo à região do Metrô Penha. A figura 3.5 a seguir mostra a Radial no sentido bairro-centro, na confluência com esta avenida. À esquerda, havia três faixas e à direita mais duas que são acrescentadas devido ao fluxo provindo da outra via.

Figura 3.5 - Confluência das avenidas Radial Leste e Aricanduva



Fonte: Google Street View (2015)

A classificação da via é arterial, com nenhum obstáculo transversal, porém com semáforos nas suas principais interseções. A largura das faixas é de 3,30m no mínimo, ou seja, em alguns trechos, onde a via é mais estreita, a largura das faixas é de 3,30m. Atualmente existe uma faixa exclusiva de ônibus em cada sentido da via. Estas faixas possuem 3,50m de largura e, desde a sua implantação em 2011, melhoraram o deslocamento dos ônibus e aumentaram sua velocidade média em até 20%, diminuindo o tempo de viagem dos mesmos, segundo a SPTrans.

No sentido bairro-centro, o funcionamento da faixa exclusiva de ônibus é das 5h às 9h de segunda a sexta-feira, entre a Avenida Jacu-Pêssego e o Viaduto Carlos de Campos; 24h diariamente, entre o Viaduto Carlos de Campos e a estação Tatuapé do Metrô e da Avenida Álvaro Ramos até o Parque Dom Pedro II; e das 6h às 9h de segunda a sexta-feira, da estação Tatuapé do Metrô até a Avenida Álvaro Ramos. No sentido centro-bairro, o funcionamento é das 10h às 23h de segunda a sexta-feira, do Parque Dom Pedro II até a Avenida Aricanduva; e das 16h às 21h entre o Viaduto Carlos de Campos e a Avenida Jacu-Pêssego. A figura 3.6 mostra a sinalização da faixa exclusiva de ônibus embaixo do Viaduto Alberto Badra.

Figura 3.6 - Placa de sinalização para faixa exclusiva de ônibus



Fonte: Google Street View (2015)

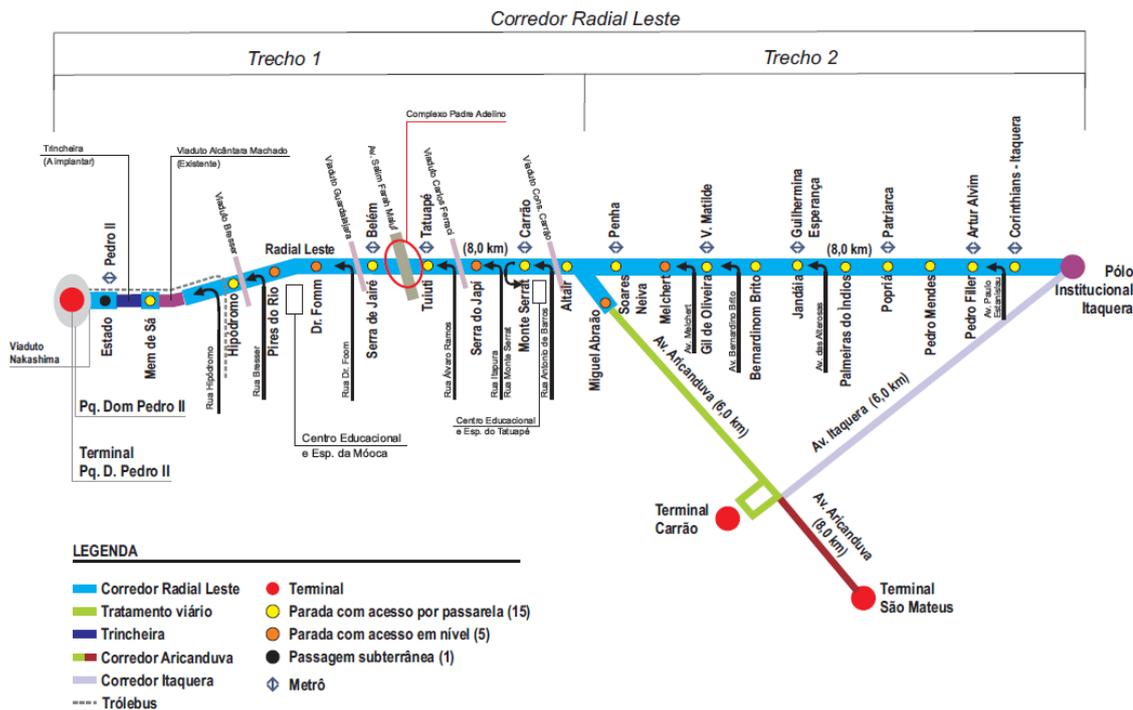
A velocidade regulamentar da via era, até 2011, de 70 km/h. No entanto, devido à elevada quantidade de acidentes ocorridos, o prefeito anterior de São Paulo, Gilberto Kassab, optou pela redução da velocidade máxima para 60 km/h, a partir de abril de 2011. O objetivo era a redução em cerca de 20% no número de acidentes. Em outubro de 2015 houve nova redução da velocidade máxima permitida de 60 km/h para 50 km/h.

3.1.3 Projeto Corredor Radial Leste 1

A Prefeitura de São Paulo, dentro de seu Programa de Metas 2013 a 2016, estabeleceu a implantação de um Plano de Mobilidade Urbana, por meio do qual a cidade ganhará ao menos 150 km de corredores exclusivos ao transporte coletivo.

Dentro do escopo está previsto o projeto Mobilidade Leste, que contempla a execução de corredores (figura 3.7) e terminais de ônibus na Zona Leste. No pacote estão inseridas as obras de desapropriação e implantação de quatro corredores (Radial Leste 1, Radial Leste 2, Aricanduva e Itaquera); construção do novo Terminal Itaquera, requalificação e modernização do terminal atual; construção do túnel na região do Parque Dom Pedro e de quatro novos viadutos. Para a realização total das obras, estão previstas 628 desapropriações e o valor de investimento está estimado em R\$1 bilhão.

Figura 3.7 - Esquema do trajeto e paradas de ônibus - Corredor Radial Leste 1 e 2



Fonte: Corredores de ônibus – Zona Leste e Terminais Itaquera, SPObras, 2014

O trecho estudado nesse trabalho de formatura está compreendido no Corredor Radial Leste 1 (figura 3.8), que apresenta 12 km de extensão e se estende do Terminal Parque Dom Pedro II até a Rua Joaquim Marra (próximo à Estação Vila Matilde do Metrô).

Figura 3.8 - Vista aérea do Corredor Radial Leste 1



Fonte: SPObras, <http://prova2.suaempresa.net/Conteudo/120/corredor-radial-leste-1>

O Projeto conta com investimentos de R\$440 milhões do Programa de Aceleração de Crescimento (PAC) e R\$15 milhões da Prefeitura Municipal de São Paulo. As obras já estão em andamento, mas a previsão inicial de entrega para

outubro de 2016 não será atingida devido ao bloqueio dos recursos provindos do PAC.

O corredor contará com faixa exclusiva a esquerda, faixas de ultrapassagem nas paradas e pavimento rígido. Serão 14 paradas de ônibus (elevadas ou em nível, como ilustrado nas figuras 3.9 e 3.10) com 150 m de extensão cada e cobrança de tarifa desembarcada.

Este corredor terá integração com o metrô e CPTM nos seguintes pontos: Estação Pedro II (Linha 3 Metrô); Estação Belém (Linha 3 Metrô); Estação Tatuapé (Linha 3 Metrô / Linha 11 e 12 CPTM); Estação Carrão (Linha 3 Metrô); Estação Penha (Linha 3 Metrô); Estação Vila Matilde (Linha 3 Metrô).

Figura 3.9 - Parada de ônibus em nível



Fonte: Apresentação Corredor Radial Leste, SPTrans

Figura 3.10 - Parada de ônibus elevada



Fonte: Apresentação Corredor Radial Leste, SPTrans

As demais diretrizes do Projeto Corredor Radial Leste 1 incluem: acessibilidade às plataformas com elevadores, escadas rolantes e rampas;

sinalização semafórica sincronizada; iluminação das faixas de pedestres; tratamento urbanístico dos passeios e calçadas; drenagem nas vias; informações aos usuários.

De acordo com a SPTrans, o sistema operacional (linhas, frequência, quantidade de veículos, entre outros) ainda não foi definido.

Os projetos geométricos da via, de sinalização horizontal e arquitetura do Corredor Radial Leste 1 foram disponibilizados pela SPTrans e servirão como base para a simulação proposta no estudo de caso, posteriormente detalhada neste documento. Os arquivos referentes ao trecho analisado encontram-se no anexo A.

3.2 DESCRIÇÃO DO TRECHO DE TRABALHO

3.2.1 Justificativa para a escolha do trecho

A Zona Leste pode ser considerada como constituída por bairros-dormitórios. A locomoção da população que habita esta região é feita principalmente pelo eixo da Radial Leste, seja por Metrô, trem, ônibus ou automóvel particular. A situação do transporte público neste eixo é bastante complicada, uma vez que se encontra saturado. Com relação ao transporte individual, os congestionamentos são significativos no tempo total de deslocamento da população. A construção de um corredor para BRT no local ajudaria na fluidez das pessoas e eventualmente influenciaria a migração para este modal. Este corredor, na verdade, já está em construção, como descrito no item 3.1.3.

Uma forte motivação seria a possibilidade da migração para o BRT de passageiros vindos especificamente do Metrô. Essa migração é citada em função da situação da linha 3-Vermelha do Metrô às 18h30, conforme mostrada na imagem 3.11 na estação Sé, sentido Corinthians-Itaquera.

Figura 3.11 - Estação Sé, sentido Corinthians-Itaquera, em horário de pico a tarde



Fonte: Sérgio Neves (2010)

Uma influência decisiva para a escolha da Radial Leste como objeto de estudo foi o fato de um dos membros do grupo ter um bom conhecimento das condições da avenida, em função de morar muito próximo ao eixo viário e por utilizar o transporte público para locomoção entre a USP e sua residência. Justamente por utilizar ônibus e metrô, este membro pode melhor descrever alguns dos problemas presentes na avenida e ajudar a compreender as características físicas e operacionais da via.

3.2.2 Trecho de trabalho

Inicialmente, foi escolhido um trecho de 7km, que se estendia do Viaduto Alcântara Machado até o Viaduto Alberto Badra. Esta parcela da Av. Radial Leste corresponde à quase totalidade da rota 7G, da Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET e é a mais volumosa em número de veículos e passageiros, segundo a CET e SPTrans, respectivamente. No entanto, o trecho teve que ser repensado para atender à limitação do simulador de tráfego, que permite um comprimento máximo de 1km.

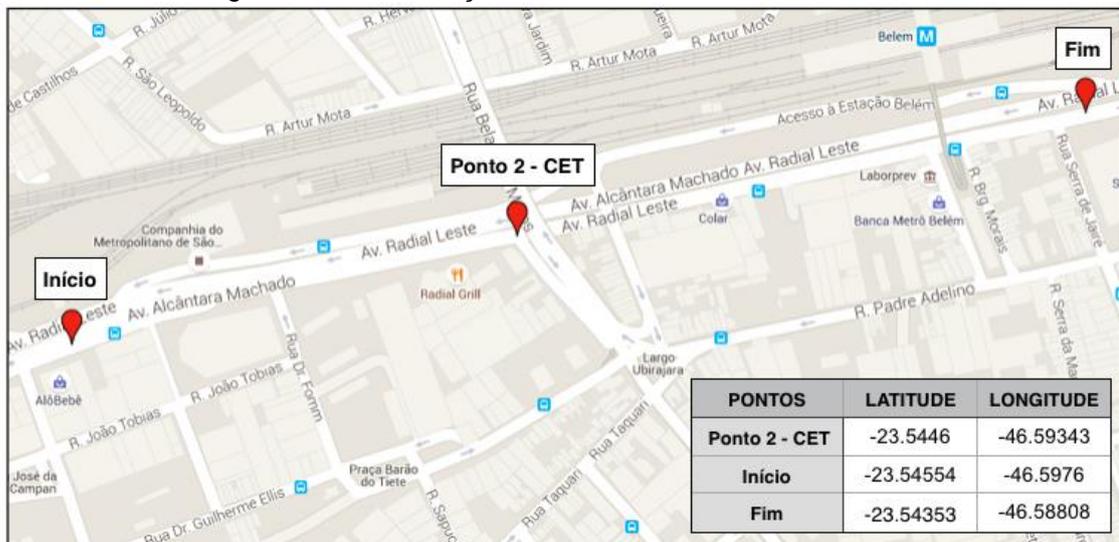
O novo trecho escolhido para análise, com 1km de extensão, está compreendido entre as ruas Jaibarás e Serra de Jairé. A definição do local teve base

no ponto 2 da rota 7G da Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET e seu entorno, para que fosse possível realizar comparações entre as velocidades dos veículos em geral e as velocidades dos ônibus (base da SPTrans).

Um motivo significativo para a escolha desse ponto é o fato de estar próximo à parada de ônibus em frente à estação Belém de metrô, onde há forte demanda e os ônibus permanecem parados por bastante tempo. Além disso, a velocidade dos veículos, de modo geral, é uma das mais reduzidas da rota 7G.

A figura 3.12 mostra o trecho em detalhes, com as coordenadas geodésicas de cada ponto:

Figura 3.12 - Localização e coordenadas do trecho estudado



Fonte: Base do Google Maps; elaborado pelos autores

3.2.3 Linhas de ônibus

Existem 53 linhas de ônibus que trafegam pela Radial Leste diariamente em qualquer trecho. Para a análise que será feita, no entanto, as linhas que foram eleitas de interesse são aquelas que utilizam a via dentro do trecho escolhido. As linhas de ônibus que trafegam pela Radial Leste estão listadas no anexo B.

A Tabela 3.1⁵, abaixo, apresenta as linhas consideradas neste estudo em cada ano, baseada no critério de que percorrem toda a extensão do trecho analisado.

⁵ A linha 4071-10 (Conj. Manoel da Nóbrega/Metrô Bresser) até 2012 era a linha 3129-10 (Conj. Manoel da Nóbrega/Term. Pq. D. Pedro II). Essa alteração foi devido à reorganização das linhas de ônibus em 2013. Por não ter havido alteração do itinerário da linha no trecho em estudo, os dados obtidos da SPTrans, de todos os anos, referentes a estas linhas estão sumarizados na nova linha.

Tabela 3.1 - Linhas que percorrem o trecho em análise por toda a sua extensão nos respectivos anos

Linha	Nome	2010	2011	2012	2013	2014
1177-31	Term. A. E. Carvalho/Estação da Luz	x	x	x	x	x
3414-10	Vila Dalila/Term. Pq. D. Pedro II	x	x	x	x	x
3459-10	Itaim Paulista/Term. Pq. D. Pedro II	x	x	x	x	x
3459-21	Cemitério da Saudade/Term. Pq. D. Pedro II	x	x	x	x	x
3459-23	Metrô Bresser/Itaim Paulista	x	x	x	x	x
3459-24	Itaim Paulista/Term. Pq. D. Pedro II	x	x	x	x	x
3539-10	Cidade Tiradentes/Metrô Bresser	x	x	x	x	x
3686-10	Jd. São Paulo/Term. Pq. D. Pedro II	x	x	x	x	x
407I-10	Conj. Manoel da Nóbrega/Metrô Bresser	x	x	x	x	x
4310-10	E. T. Itaquera/Term. Pq. D. Pedro II				x	x
4311-10	Term. São Mateus/Term. Pq. D. Pedro II				x	x
4312.10	Jardim Marília/Term. Pq. D. Pedro II				x	x
4313.10	Term. Cid. Tiradentes/Term. Pq. D. Pedro II				x	x
4314-10	Inácio Monteiro/Term. Pq. D. Pedro II				x	x
4315-10	Term. Vila Carrão/Term. Pq. D. Pedro II				x	x

Fonte: elaborado pelos autores

3.3 PESQUISA DE MONITORAÇÃO DA FLUIDEZ

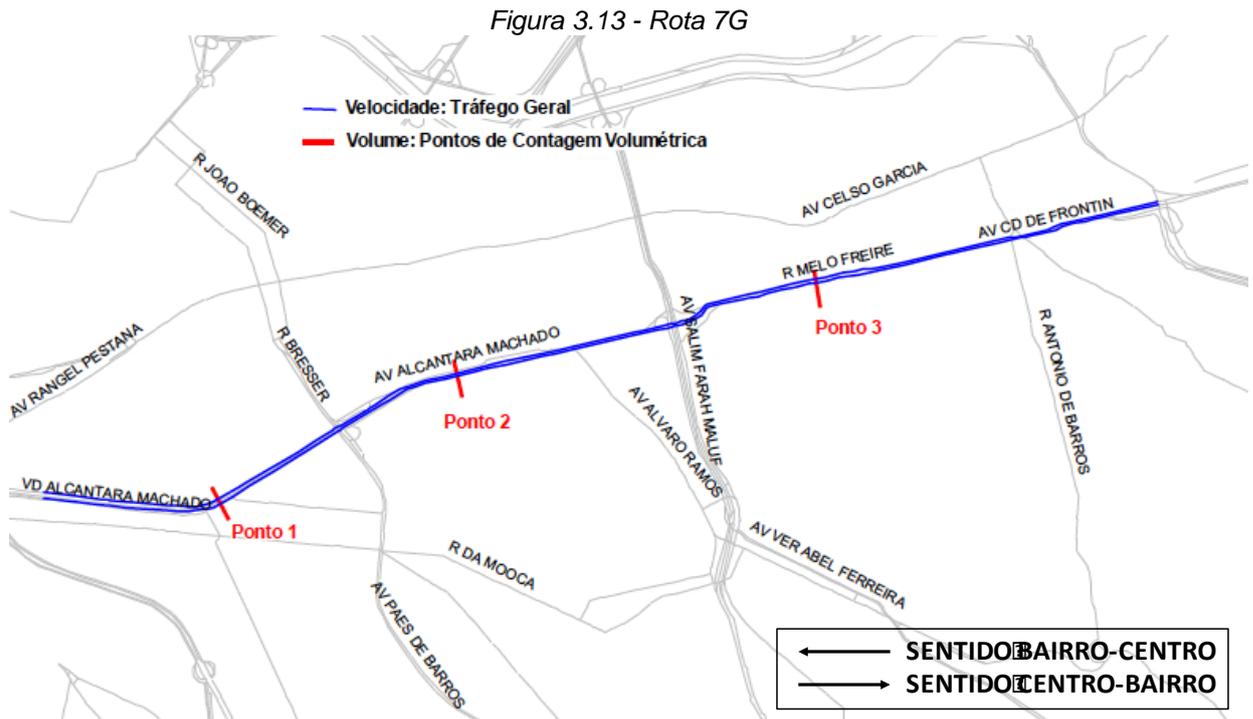
Grande parte das informações base para a análise do trecho e confirmação da necessidade de implantação do BRT foi retirada da Pesquisa de Monitoração da Fluidez, realizada em 2013 pela CET⁶, que mede o desempenho do sistema viário principal da cidade de São Paulo.

A pesquisa é realizada por meio de contagem volumétrica classificada e tempo de percurso com retardamento em 29 importantes rotas da capital, totalizando 220 km de vias.

As medições são realizadas nos considerados horários de pico, correspondentes ao período das 7h-10h na parte da manhã e ao período das 17h-20h na parte da tarde.

O trecho em estudo está inserido na rota 7G (figura 3.13), na Av. Radial Leste (Rua Melo Freire e Av. Alcântara Machado) e os dados são obtidos em 3 pontos distintos.

⁶ Disponível em: http://www.cetsp.com.br/media/334435/relatorio_dsvp2013b.pdf. Acesso em 12 jun 2015.



Fonte: Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET de 2013; editado pelos autores

3.3.1 Volume e composição dos veículos

A quantidade de veículos é levantada por pesquisadores utilizando contadores manuais e o número de pesquisadores é dimensionado para cada ponto, dependendo do número de faixas, volume e composição do tráfego.

A contagem do fluxo de tráfego é direcional, feita sempre nos dois sentidos da via e os veículos são classificados em automóveis, motocicletas, bicicletas (a partir de 2014), ônibus urbanos, ônibus fretados e caminhões.

Na tabela 3.2 são apresentados os volumes de veículos, por sentido, em cada período de 3 horas, e com a figura 3.14 é possível comparar esses volumes mais facilmente.

Tabela 3.2 - Volume de Veículos na Av. Radial Leste

Período	Sentido	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Manhã	Bairro-Centro	27505	18012	20004
	Centro-Bairro	14463	10225	12287
Tarde	Bairro-Centro	12251	10532	11269
	Centro-Bairro	27180	19206	19646

Fonte: Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET de 2013; elaborado pelos autores

Figura 3.14 - Gráfico: Volume de Veículos na Av. Radial Leste



Fonte: Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET de 2013; elaborado pelos autores

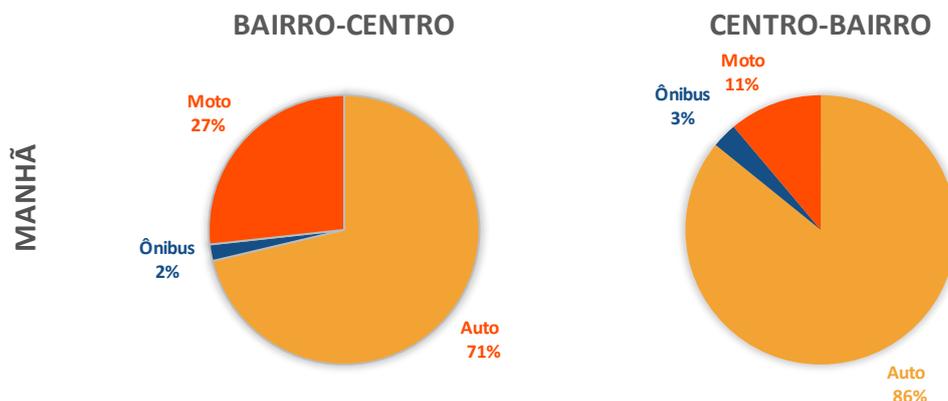
O sentido bairro-centro é o mais volumoso pela manhã, enquanto o sentido centro-bairro é o mais volumoso pela tarde.

O ponto 1 é o mais crítico em ambos os sentidos, chegando a marca de 10.422 veículos entre 9h e 10h no sentido bairro-centro e a 9.872 entre 18h e 19h no centro-bairro. A análise da CET (2013) ranqueia todos os pontos, das 29 rotas, e esse volume garantiu a primeira (tarde) e terceira (manhã) colocação ao ponto 1.

Além disso, os sentidos que, teoricamente, deveriam apresentar baixos volumes (centro-bairro pela manhã e bairro-centro pela tarde) também aparecem com elevada quantidade de veículos, ocupando altas posições no ranking da CET.

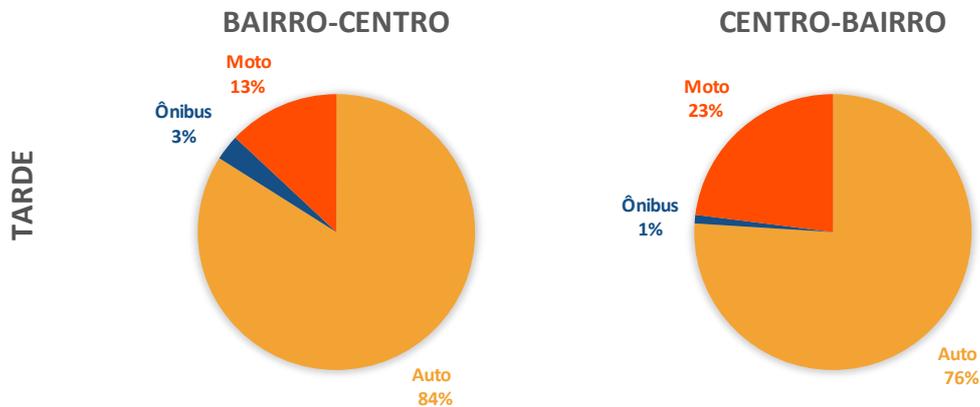
Outro fato que merece destaque é a enorme disparidade na composição dos veículos que trafegam nessa via. Considerando todos os sentidos, pontos e períodos, os automóveis correspondem de 67% a 86% dos veículos, motos de 14% a 31%, enquanto a parcela de ônibus representa apenas 1% a 3% (a porcentagem de caminhões e fretados é praticamente desprezível) como visto nas figuras 3.15 e 3.16.

Figura 3.15 – Gráfico: Composição de veículos na Av. Radial Leste no período da manhã



Fonte: Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET de 2013; elaborado pelos autores

Figura 3.16 - Gráfico: Composição de veículos na Av. Radial Leste no período da manhã



Fonte: Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET de 2013; elaborado pelos autores

Também cabe citar que há mais ônibus no ponto 1, independente do sentido e horário, devido à presença de importantes avenidas transversais à Radial Leste (Av. Conselheiro Carrão, Av. Salim Farah Maluf, Av. Paes de Barros) que desviam parte do fluxo para outras direções.

3.3.2 Velocidade, tempo de deslocamento e tempo de retardamento

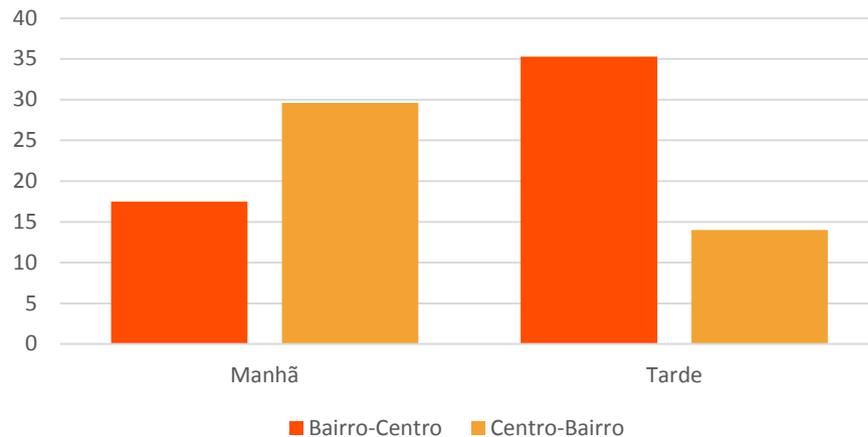
A rota é subdividida em vários trechos, demarcados pelas vias transversais à rota, com características operacionais semelhantes.

A CET/SP utiliza o método do veículo-teste com cronômetro, nos quais vão embarcados dois pesquisadores com o intuito de registrar os tempos de percurso e os tempos parados. A medida de velocidade corresponde à distância do trecho dividida pelo tempo médio gasto no trecho. Em 2013, os testes foram realizados do dia 10/09 ao dia 25/09.

Como o veículo-teste não percorre faixas exclusivas, os tempos e velocidades obtidos não representam os ônibus, portanto, podem ser considerados apenas para automóveis, motocicletas (se considerar que não trafegam entre as faixas), fretados e caminhões.

Na figura 3.17 estão assinaladas as velocidades médias para cada sentido, por período:

Figura 3.17 - Gráfico: Velocidade média por sentido e período



Fonte: Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET de 2013; elaborado pelos autores

Complementando os resultados de volume obtidos, percebe-se que o fluxo é maior no sentido bairro-centro pela manhã e no sentido centro-bairro pela tarde, quando são praticadas as menores velocidades médias.

É possível verificar que o pior caso refere-se ao sentido centro-bairro no período vespertino, em que a velocidade média não ultrapassa os 14 km/h (figura 3.17) e o trecho crítico apontado na pesquisa apresenta velocidade média de 10,6 km/h no ponto de medição 1.

Como dito anteriormente, o estudo da CET também disponibiliza os tempos de percurso, distintos em tempo do veículo em movimento e tempo em que o veículo se encontra parado (tempo de retardamento), como indicado na tabela 3.3 abaixo.

Tabela 3.3 - Tempo de percurso total e de retardamento (em minutos) para a rota 7G da Av. Radial Leste

Sentido	Manhã		Tarde	
	Total	Retardamento	Total	Retardamento
Bairro-Centro	27	8	16	3
Centro-Bairro	13	2	34	9

Fonte: Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET de 2013; elaborado pelos autores

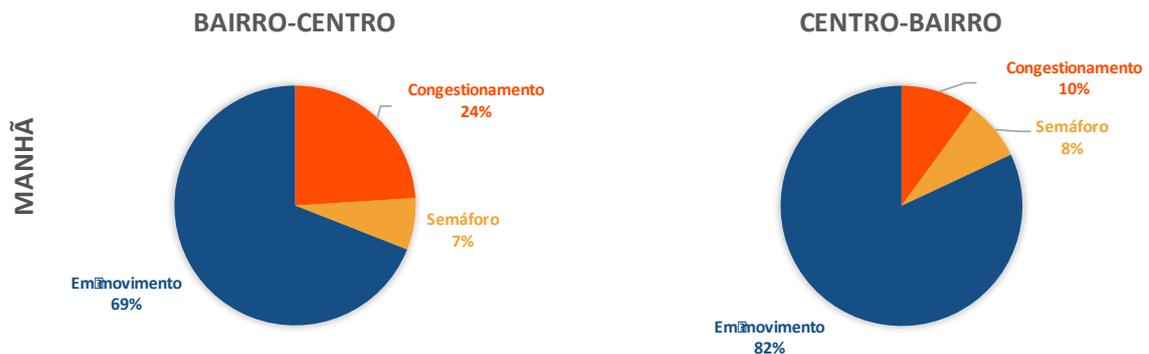
A situação com maior porcentagem de retardamento em relação ao tempo total de deslocamento ocorre no sentido bairro-centro no período matutino (apesar de não ser o cenário de menor velocidade média) em que alcança 31%.

Além disso, o tempo de retardamento é separado de acordo com o motivo que levou o veículo a permanecer parado. São eles: congestionamento, semáforo e outros motivos como colisão na pista e obra na pista.

As figuras 3.18 e 3.19 representam a porcentagem do tempo total de percurso

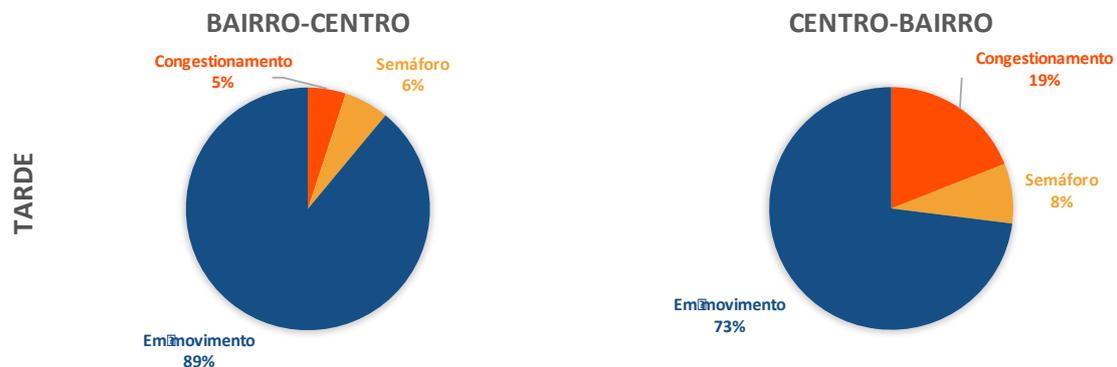
em que os veículos se encontram em cada situação: em movimento; parado por conta do congestionamento; e parado devido aos semáforos (os demais motivos podem ser considerados desprezíveis nas datas em que foram realizadas as medições).

Figura 3.18 – Gráficos: Porcentagem do tempo de percurso utilizada em cada situação, durante o pico da manhã, para a rota 7G da Av. Radial Leste



Fonte: Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET de 2013; elaborado pelos autores

Figura 3.19 – Gráfico: Porcentagem do tempo de percurso utilizada em cada situação, durante o pico da tarde, para a rota 7G da Av. Radial Leste



Fonte: Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET de 2013; elaborado pelos autores

Com exceção do sentido bairro-centro pela tarde, o tempo de retardamento se deve, em sua maior parcela, pelo congestionamento, seguido pela semaforização.

A indicação de congestionamento justifica a necessidade de faixas exclusivas destinadas aos ônibus. Na época em que o estudo foi realizado (2013) já existiam faixas exclusivas de ônibus em ambos os sentidos, à direita, o que certamente reduziu o tempo de retardamento ocasionado por congestionamento.

Ainda assim, devido às inúmeras vias transversais no sentido Centro-Bairro, a presença de automóveis que adentram as faixas exclusivas para realizar a conversão é constante. Desse modo, a melhor alternativa seria a implantação de um

canteiro central.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

A seção a seguir contém uma série de análises, desenvolvidas a partir dos dados disponibilizados pela base da SPTrans e estudos da CET.

3.4.1 Dados da SPTrans

A obtenção dos dados da SPTrans ocorre de acordo com o seguinte procedimento: alguns ônibus possuem um transmissor, que envia um sinal para a central de dados e esta, por sua vez, armazena algumas informações sobre os ônibus, como o instante de envio e as coordenadas de latitude e longitude neste instante. Após serem tratadas (filtragem e eliminação de dados imprecisos), tais informações possibilitam o cálculo da velocidade dos ônibus que trafegam no trecho estudado.

A primeira etapa consiste numa programação em SQL (Structured Query Language) para selecionar, do banco de dados da SPTrans, apenas as informações condizentes com o trecho e períodos estudados. Inicialmente, foi feito o tratamento dos dados e aplicado um filtro com base nos seguintes fatores:

- Localização: limitada pelas coordenadas do ponto inicial e final do trecho;
- Linhas: somente os *IDs* (identificadores) das linhas de ônibus que percorrem toda a extensão do trecho analisado;
- Horário: apenas nos intervalos das 7h às 10h e das 17h às 20h, que correspondem aos períodos de pico da manhã e tarde, considerados nos estudos da CET;
- Data: iguais ou próximas às utilizadas nos estudos da CET, de forma a garantir maior confiabilidade nas comparações.

A figura 3.20 abaixo representa o script utilizado para aplicação do filtro:

Figura 3.20 -Script de filtro no SQL

```
select data, hora, idOnibus, long, lat, linha, tipo, sentido from BancoTratado_2013
where long between -46.59760 and -46.58808
and lat between -23.54554 and -23.54353
and ((hora between '07:00:00.000000' and '10:00:00.000000') or (hora between '17:00:00.000000' and '20:00:00.000000'))
order by Data, Hora, IDOnibus, long
```

Fonte: SQL; elaborado pelos autores

Em seguida, é gerada uma tabela com todos os dados, que correspondem aos critérios estabelecidos, podendo ser exportada para o Excel.

Além disso, como os valores estão representados em coordenadas geodésicas, há a necessidade de convertê-los para coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator). Existem programas para fazer esta conversão, disponibilizados no site do IBGE. Neste caso, foi utilizado o ProGrid.

A planilha é disposta em ordem crescente dos identificadores (ID) de ônibus, que, por sua vez, são ordenados de acordo com as datas e horários, como mostra o modelo da figura 3.21 abaixo:

Figura 3.21 - Modelo de planilha utilizada para cálculo da velocidade

ID ÔNIBUS
em ordem
crescente

Ordem
cronológica
(para cada ID)

Coordenadas
Geodésicas

Coordenadas
UTM

	ID ÔNIBUS	DATA	HORA	LONGITUDE	LATITUDE	LINHA	LONGITUDE UTM	LATITUDE UTM	
Ônibus 1	35017	07/06/10	07:01:34	-46,593247	-23,544242	3686	337368,595	7395318,321	Velocidade I
	35017	07/06/10	07:02:54	-46,597358	-23,5452	3686	336950,07	7395207,565	
	35017	20/07/10	07:09:01	-46,591648	-23,543692	3686	337531,167	7395381,039	Velocidade II
	35017	20/07/10	07:10:21	-46,593455	-23,544287	3686	337347,415	7395313,102	
Ônibus 2	35017	21/07/10	09:37:38	-46,595085	-23,544685	3686	337181,493	7395267,178	Velocidade III
	35023	20/07/10	07:30:43	-46,597023	-23,545075	3686	336984,117	7395221,789	Velocidade IV
Ônibus 3	35023	20/10/10	07:36:27	-46,593368	-23,544272	3686	337356,279	7395314,862	
	35025	22/10/10	09:49:45	-46,592657	-23,543932	3686	337428,449	7395353,319	
Ônibus 4	35029	25/10/10	08:06:41	-46,590762	-23,54353	3459	337621,423	7395399,982	Velocidade VI
	35029	25/10/10	08:08:01	-46,592265	-23,543833	3459	337468,348	7395364,726	
	35029	25/10/10	08:09:21	-46,594215	-23,54448	3459	337270,062	7395290,867	
	35029	25/10/10	08:10:42	-46,596088	-23,544857	3459	337079,306	7395246,992	

Mesmo ID, datas diferentes. Soma é interrompida.

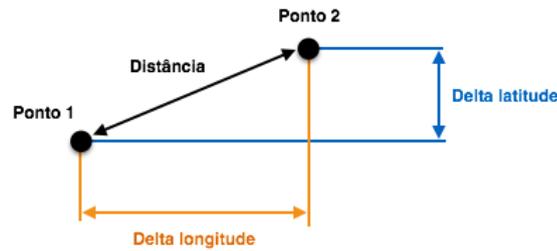
IDs diferentes. Soma é interrompida.

Fonte: elaborado pelos autores

Observados tais parâmetros, é possível iniciar o cálculo da velocidade.

Para tanto, primeiro deve-se calcular a distância entre os pontos utilizando o princípio dos “triângulos retângulos”, em que a distância entre eles corresponde à hipotenusa do triângulo, e a diferença entre coordenadas, aos catetos (figura 3.22). Os pontos representam as posições em que o ônibus se encontra durante o envio de dois sinais consecutivos.

Figura 3.22 - Princípio dos “triângulos retângulos”



$$\text{Distância} = \sqrt{(\Delta\text{latitude})^2 + (\Delta\text{longitude})^2}$$

Fonte: elaborado pelos autores

O segundo passo é calcular a diferença de tempo entre a emissão dos sinais nos respectivos pontos.

Os valores de tempo e distância são somados até que o sinal enviado não corresponda mais a um mesmo ônibus e/ou a uma mesma data e período (como mostra o esquema na figura 3.21). Assim, efetua-se a divisão entre a distância total e o tempo total encontrados para um mesmo veículo, chegando em sua velocidade média. As velocidades abaixo de 1 km/h ou acima de 100 km/h foram descartadas, considerando-se imprecisão dos valores da base de dados.

Por fim, somam-se todas as velocidades médias encontradas para cada ônibus (velocidade I + velocidade II + ... + velocidade n), e divide-se pelo número de registros válidos (n) para estimar a velocidade média de todos os ônibus que trafegaram na região nos períodos considerados.

O procedimento descrito acima foi realizado para os anos de 2010 à 2014, separados de acordo com o sentido que os ônibus trafegam (centro-bairro ou bairro-centro) e de acordo com o horário (pico da manhã e pico da tarde).

Cabe destacar que os períodos dos anos em que foram obtidos os dados variou e isso pode ser um aspecto significativo para a oscilação das velocidades, uma vez que envolvem diversos fatores, tais como: dias úteis ou fins de semana; mês de férias escolares; feriados; época de chuva; entre outros. Além disso, a quantidade de dados também varia e, especificamente para o ano de 2011, foram captados poucos dados das linhas de ônibus em estudo, frente aos outros anos, o que compromete a acurácia da análise.

3.4.1.1 Evolução das velocidades dos ônibus

A tabela 3.4 representa um resumo das velocidades encontradas ao longo dos anos, no trecho analisado:

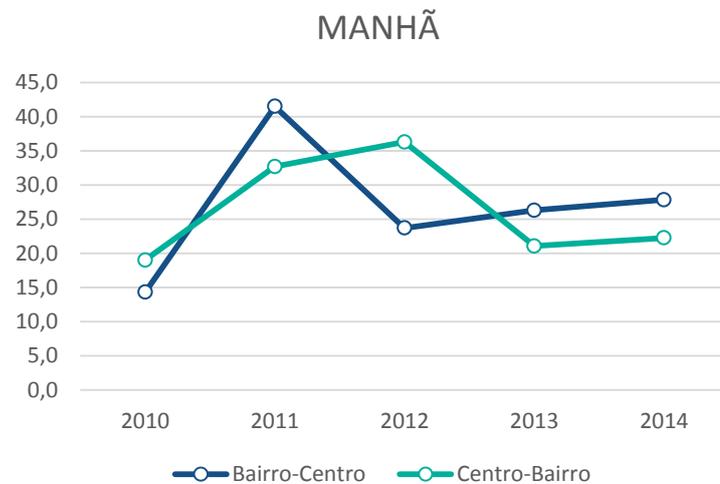
Tabela 3.4 - Velocidades médias dos ônibus

Período	Sentido	Ano				
		2010	2011	2012	2013	2014
Manhã	Bairro-centro	14,3	41,5	23,7	26,3	27,8
	Centro-bairro	19,0	32,7	36,3	21,1	22,3
Tarde	Bairro-centro	13,3	20,2	28,7	31,1	31,2
	Centro-bairro	11,6	27,2	16,8	13,2	14,2

Fonte: Valores obtidos a partir da base de dados da SPTrans; elaborado pelos autores

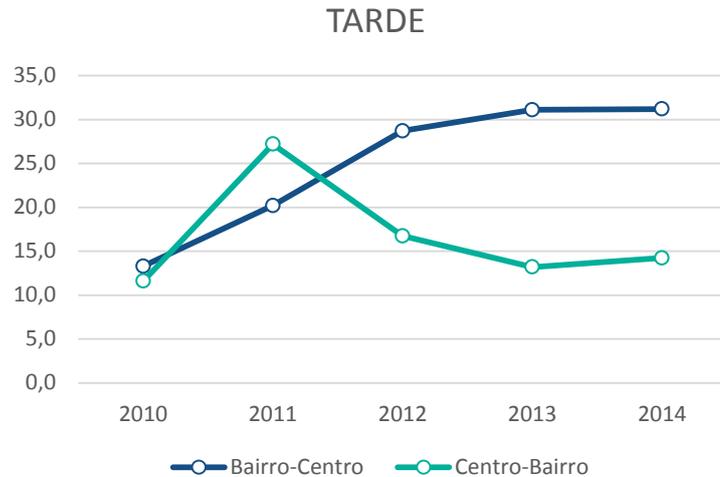
A evolução das velocidades também pode ser observada por meio dos gráficos 3.23 e 3.24:

Figura 3.23 - Gráfico: Velocidades médias dos ônibus no período de pico da manhã



Fonte: Valores obtidos a partir da base de dados da SPTrans; elaborado pelos autores

Figura 3.24 - Gráfico: Velocidades médias dos ônibus no período de pico da tarde



Fonte: Valores obtidos a partir da base de dados da SPTrans; elaborado pelos autores

A partir do comportamento observado, se faz necessária uma análise mais profunda para identificar os aspectos que impactaram nessa oscilação significativa de velocidade ao longo dos anos. A abordagem a seguir sugere os possíveis fatores que afetam a velocidade dos ônibus:

- Implantação da faixa exclusiva para ônibus

No segundo semestre de 2011 ocorreu a implantação das faixas exclusivas para ônibus, à direita. Essa medida tem influência direta na velocidade dos ônibus, uma vez que elimina grande parcela do congestionamento, apontada pela CET como a principal causa do retardamento na Pesquisa de Monitoração da Fluidez nessa região.

- Aumento/redução da frota

A quantidade de ônibus em circulação tem relação direta com a velocidade dos mesmos, aumentando o número de veículos, a velocidade tende a cair, uma vez que não houve alteração na infraestrutura da via ou reformulação dos pontos de parada.

Quando houve a reorganização das linhas, quase não se alterou o número de linhas, porém passaram a circular mais ônibus articulados, o que também impacta a circulação.

- Redução da velocidade máxima permitida para a via;

Em abril de 2011, a velocidade máxima regulamentada da Radial Leste foi reduzida de 70km/h para 60km/h. Um estudo de análise da influência da velocidade máxima permitida sobre o valor da capacidade da CET (2012) nas vias em que a velocidade máxima foi reduzida concluiu que, em vias arteriais, como é o caso da Radial Leste, não há mudança significativa de capacidade da via.

- Demanda dos ônibus

A quantidade de passageiros embarcando influencia no tempo de parada dos ônibus em cada ponto e, como não há faixa para ultrapassagem, caso a demanda seja alta, podem ocorrer gargalos que reduzem a velocidade média de viagem dos ônibus. Com as políticas de faixas de ônibus adotadas pela Prefeitura, percebe-se uma tendência de migração da população para este modal de transporte, o que aumentou a demanda.

- Tempo de semáforo

Não foram encontrados dados sobre alterações dos ciclos semaforicos no trecho simulado ao longo dos anos. É provável, no entanto, que tenha havido mudanças, porém, por não haver dados disponíveis sobre isso, foi considerado que não se alteraram os ciclos semaforicos.

- Aumento/diminuição do número de táxis em circulação

A Prefeitura do Município de São Paulo, por meio da Secretaria Municipal de Transportes (SMT) autoriza a circulação de táxis com passageiros nas faixas exclusivas de ônibus à direita em qualquer horário e dia da semana, desde 2005.

A interação dos ônibus com os táxis causa uma competição pela pista, que pode gerar atrasos no sistema de transporte público coletivo em diversos horários do dia.

A partir de 2014 os táxis só podem circular nas faixas exclusivas fora dos horários de pico.

Tabela 3.5 - Pontos de referência na Pesquisa de Monitoração da Fluidez, CET

Subpontos	Cruzamento da Av. Radial Leste com
1	Vd. Eng. Alberto Badra
2	Vd. Antônio de Barros
3	Vd. Carlos Ferraci
4	Av. Álvaro Ramos
5	R. Siqueira Bueno
6	Vd. Bresser
7	R. dos Trilhos
8	R. Carneiro Leão

Fonte: Dados da Pesquisa de Monitoração da Fluidez, CET; elaborado pelos autores

3.4.2.1 Evolução das velocidades dos demais veículos

A tabela 3.6 abaixo representa as velocidades medidas pela CET nos períodos de 2010 a 2014:

Tabela 3.6 - Evolução da velocidade média dos veículos em geral para o trecho estudado

Período	Sentido	Ano				
		2010	2011	2012	2013	2014
Manhã	Bairro-centro	10,2	9,2	12,5	12,4	12,1
	Centro-bairro	26,3	23,1	30,2	33,8	40,4
Tarde	Bairro-centro	37,1	32,6	36,7	29,4	34,1
	Centro-bairro	9,7	11,7	13,2	12,1	11,8

Fonte: Valores obtidos a partir da Pesquisa de Monitoração da Fluidez, CET; elaborado pelos autores

Do mesmo modo que a obtenção de dados das linhas de ônibus, as medições foram realizadas em diferentes períodos do ano (como apresentado na tabela 3.7), o que também interfere nas velocidades médias encontradas.

Tabela 3.7 - Data das medições da CET

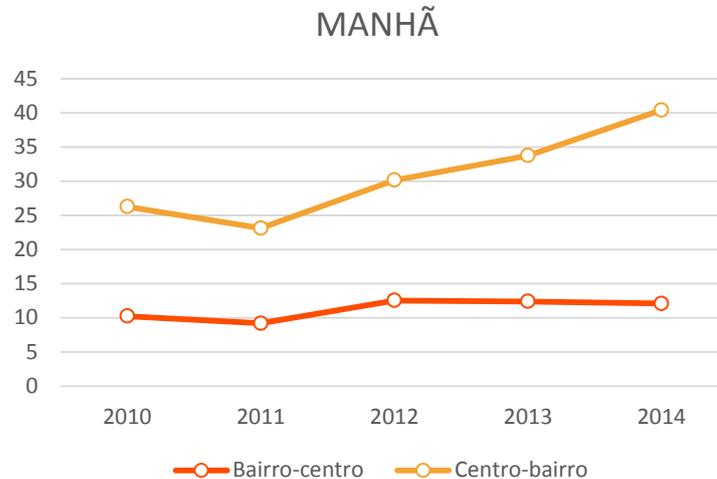
Ano	Início	Fim
2010	27/out (quarta)	28/out (quinta)
2011	03/mai (terça)	04/mai (quarta)
2012	11/abr (quarta)	19/abr (quinta)
2013	10/set (terça)	25/set (quarta)
2014	19/mai (segunda)	30/mai (sexta)

Fonte: Dados da Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET; elaborado pelos autores

Os dados das linhas de ônibus utilizadas nesse estudo foram selecionados em períodos próximos às datas das medições da CET.

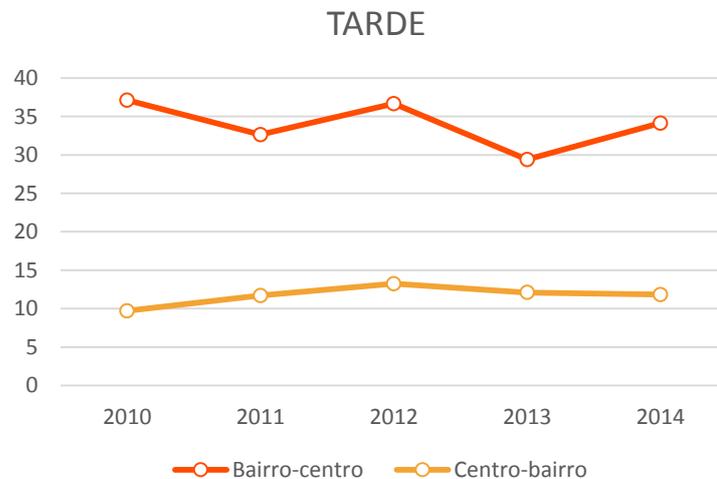
Os gráficos das imagens 3.26 e 3.27 abaixo permitem uma leitura mais clara das velocidades obtidas ao longo dos anos:

Figura 3.26 – Gráfico: Evolução das velocidades dos veículos em geral no período da manhã



Fonte: Valores obtidos a partir da Pesquisa de Monitoração da Fluidez, CET; elaborado pelos autores

Figura 3.27 – Gráfico: Evolução das velocidades dos veículos em geral no período da tarde



Fonte: Valores obtidos a partir da Pesquisa de Monitoração da Fluidez, CET; elaborado pelos autores

Realizando o mesmo procedimento de análise já explorado para os ônibus, seguem os possíveis fatores que afetam diretamente a velocidade dos automóveis:

- Implantação da faixa exclusiva para ônibus

A redução de uma faixa para os demais veículos impacta significativamente a velocidade média dos carros em horários de pico. No estudo de caso em questão, a diminuição de velocidade dos automóveis fica evidente para os anos de 2010 e 2011 (com exceção do sentido centro-bairro

no período da tarde, em que houve um discreto aumento), considerando que a faixa foi implantada no segundo semestre de 2011.

- Aumento/diminuição do número de carros em circulação

O fluxo de tráfego dos automóveis na Av. Radial Leste nos horários de pico ao longo dos anos está refletido na tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Evolução do fluxo de tráfego dos automóveis

ANO	MANHÃ		TARDE	
	BC	CB	BC	CB
2010	15504	8087	10125	15198
2011	15038	8015	10410	15457
2012	13935	8812	10235	15135
2013	12060	8463	8720	14153
2014	13859	10613	8329	12387

Fonte: Dados da Pesquisa de Monitoração da Fluidez, CET; elaborado pelos autores

A tabela 3.9, abaixo, explora a relação percentual entre as quantidades de carros a cada ano, ou seja, o quanto aumentou ou diminuiu de um ano para outro:

Tabela 3.9 - Fluxo de tráfego em relação ao ano anterior

ANO	MANHÃ		TARDE	
	BC	CB	BC	CB
2011	-3%	-1%	3%	2%
2012	-7%	10%	-2%	-2%
2013	-13%	-4%	-15%	-6%
2014	15%	25%	-4%	-12%

Fonte: Dados da Pesquisa de Monitoração da Fluidez, CET; elaborado pelos autores

Comparando os gráficos acima com os dados de variação de volume obtidos, não é possível observar uma relação direta entre o volume de veículos e a velocidade dos mesmos ao longo dos anos, embora o mesmo estudo da CET/SP sobre alteração da capacidade de vias com a diminuição da velocidade máxima regulamentada, citado anteriormente, demonstre que quanto maior o fluxo de veículos, após certo ponto (capacidade da via), menor é a velocidade.

- Aumento/diminuição do número de fretados

Em 27 de julho de 2009, a nova regulamentação do transporte fretado foi implementada no município de São Paulo por meio da Lei 14.971/09 e com a portaria 051/13.SMT.GAB, que delimitou a Zona de Máxima Restrição de Fretamento (ZMRF), onde o trânsito de veículos que realizam fretamento é restrito.

A partir de 22 de setembro de 2011, a Radial Leste também passou a fazer parte da ZMRF e os fretados tiveram trânsito restrito de segunda a sexta-feira, das 5h às 21h, exceto feriados. Os ônibus fretados que portavam autorização de transporte e de trânsito podem circular na via, mas estavam proibidos de pararem para embarque ou desembarque de passageiros nessa avenida.

O trânsito de veículos que desempenham a atividade de fretamento é proibido em toda a extensão das faixas e corredores segregados exclusivos de ônibus do sistema de transporte público de passageiros. Dessa maneira, a redução do número de fretados pode contribuir para aumento das velocidades.

A tabela 3.10 mostra a evolução da quantidade de fretados ao longo dos anos e a tabela 3.11 explora a relação percentual entre a quantidade de fretados ano a ano.

Tabela 3.10 -Quantidade de fretados ao longo dos anos, retirada da Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET

ANO	MANHÃ		TARDE	
	BC	CB	BC	CB
2010	77	97	92	113
2011	53	45	15	99
2012	9	18	5	8
2013	4	3	4	9
2014	8	8	0	4

Fonte: Dados da Pesquisa de Monitoração da Fluidez, CET; elaborado pelos autores

Tabela 3.11 - Percentual de fretados em relação ao ano anterior

ANO	MANHÃ		TARDE	
	BC	CB	BC	CB
2010				
2011	-31%	-54%	-84%	-12%
2012	-83%	-60%	-67%	-92%
2013	-56%	-83%	-20%	13%
2014	100%	167%	-100%	-56%

Fonte: Dados da Pesquisa de Monitoração da Fluidez, CET; elaborado pelos autores

Uma pesquisa realizada pela CET/SP logo no início da implantação da nova regulamentação comprova que a proibição de fretados na ZMRF reduziu a lentidão em importantes corredores da cidade, como mostra a imagem 3.28 a seguir:

Figura 3.28 - Análise comparativa dos índices de lentidão para agosto e setembro de 2009 em relação a 2008

Corredor	Sentido	Agosto	Setembro
Radial Leste	Centro	-5%	-16%
	Bairro	-34%	-42%
Av. Paulista	Paraíso	-25%	-24%
	Consolação	-5%	-5%
Ligação Leste/Oeste	Penha	0%	-4%
	Lapa	-15%	-14%

Fonte: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/transportes/noticias/?p=8468>

- Redução da velocidade máxima permitida para a via;

Como exposto anteriormente, em abril de 2011 houve redução da velocidade máxima permitida para a via, de 70 km/h para 60 km/h. Novamente, segundo estudos feitos pela CET, não há alterações significativas de capacidade em vias arteriais, como a Radial Leste. Em outubro de 2015, ocorreu mais uma redução, para 50 km/h, porém essa mudança é mais recente e não gerou interferência nos dados coletados.

- Tempo de semáforo;

Não foram encontrados dados sobre alterações dos ciclos semafóricos no trecho simulado ao longo dos anos. É provável, no entanto, que tenha havido mudanças, porém, por não haver dados disponíveis sobre isso, foi considerado que não se alteraram os ciclos semafóricos.

Além disso, podem ser considerados fatores que afetam indiretamente a velocidade dos carros, como:

- Aumento/diminuição do número de motos em circulação

Possível interferência, pois apesar das motos trafegarem entre os carros, muitas vezes o deslocamento entre as faixas fica comprometido e os automóveis reduzem a velocidade.

- Condições físicas da via;
- Entre outros.

Tendo em vista as considerações acima sobre as variações de volume do tráfego (incluindo ônibus urbanos, fretados e motos) e da evolução da velocidade dos ônibus e dos veículos em geral durante os anos de 2010 a 2014, é possível perceber que não se pode estabelecer uma relação direta entre os dois neste caso. Os aumentos e diminuições de velocidades estão provavelmente relacionados a uma combinação de diversos fatores e sofrem influência de quesitos indiretos como o comportamento dos motoristas, às condições da via, o dia em que foram realizadas as medições e coleta de dados dos ônibus.

Os ônibus fretados também exerceram grande influência para as variações nas velocidades dos veículos, ainda mais antes das faixas de ônibus serem implantadas na via. Até a proibição da circulação deste tipo de ônibus na Radial Leste, estes trafegavam pela faixa exclusiva, o que causava alguns atrasos nos ônibus urbanos. Por não poder parar para embarque e desembarque nos pontos de parada, os fretados interrompiam o fluxo de ônibus urbanos na faixa exclusiva, diminuindo sua velocidade média.

Como descrito acima, as motocicletas afetam significativamente a velocidade dos automóveis por circularem entre eles. O risco de causar um acidente faz com que os motoristas reduzam sua velocidade e, eventualmente, invadam um pedaço da faixa adjacente para não colidir com os motociclistas. Isso causa grandes impactos nos cálculos de capacidade e velocidade da via.

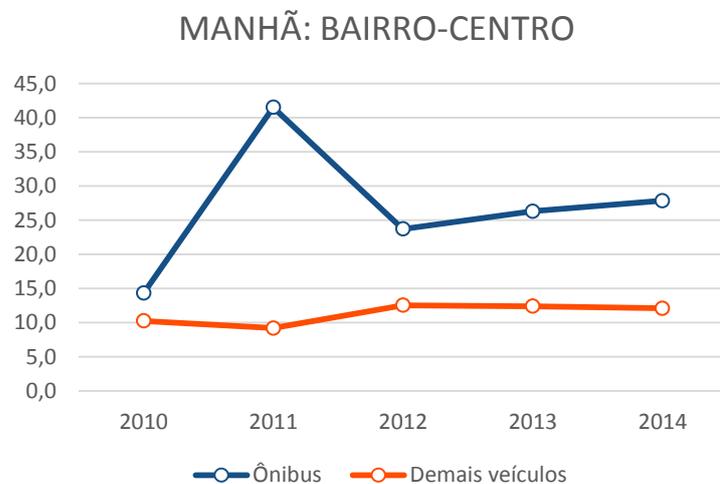
Além disso, nos primeiros meses após a implantação das faixas exclusivas, havia uma fiscalização maior por parte da CET/SP no intuito de orientar os veículos a não utilizarem a faixa, em um espaço superior ao necessário, quando os veículos faziam a conversão, tanto para entrar quanto para sair da Radial Leste. Com a

diminuição desta fiscalização, os veículos passaram a utilizar indevidamente a faixa, causando congestionamentos desnecessários, principalmente ao entrar na avenida, em vias próximas à semáforos.

3.5 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS VELOCIDADES DOS ÔNIBUS E DOS DEMAIS VEÍCULOS

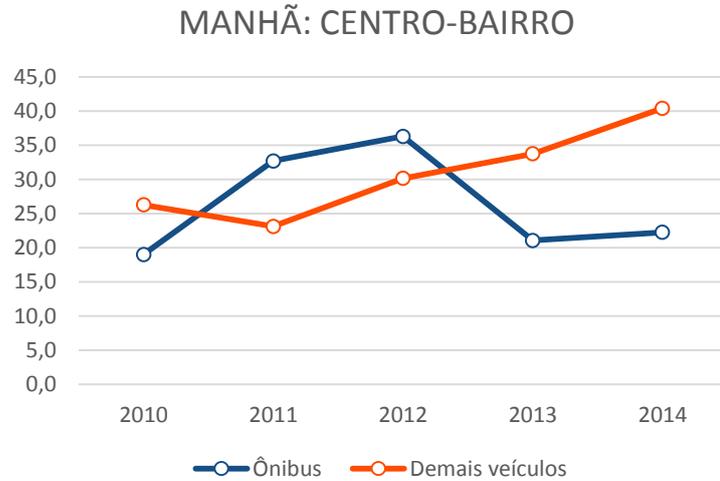
A seguir estão expostos gráficos (figuras 3.29 a 3.32) comparativos entre as velocidades dos ônibus e dos veículos em geral para o trecho em estudo, ao longo dos anos. Cada um dos gráficos expõe a evolução das velocidades em um determinado horário e sentido na via, e foram feitos utilizando os valores mostrados anteriormente neste relatório. Mais uma vez, vale levar em consideração que o volume de dados para o cálculo da velocidade dos ônibus em 2011 é significativamente pequeno, podendo representar um valor não condizente com a realidade.

Figura 3.29 - Comparativo entre velocidades de ônibus e demais veículos ao longo dos anos no período de pico da manhã, sentido bairro-centro



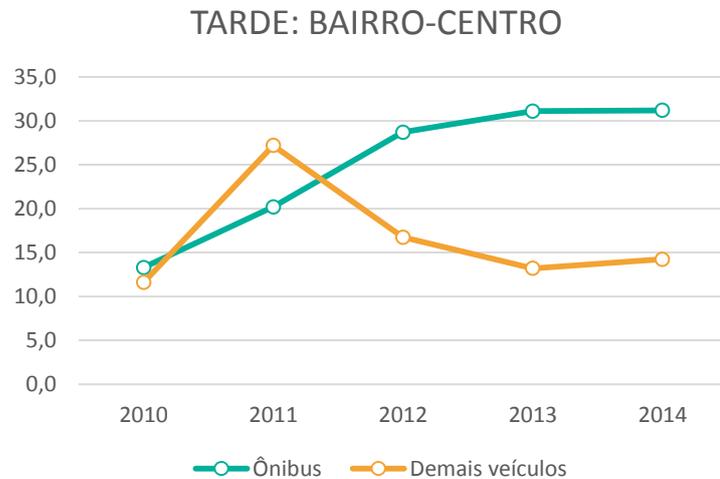
Fonte: Valores obtidos a partir da base de dados da SPTrans e da Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET; elaborado pelos autores

Figura 3.30 – Gráfico: Comparativo entre velocidades de ônibus e demais veículos ao longo dos anos, no período de pico da manhã, sentido centro-bairro



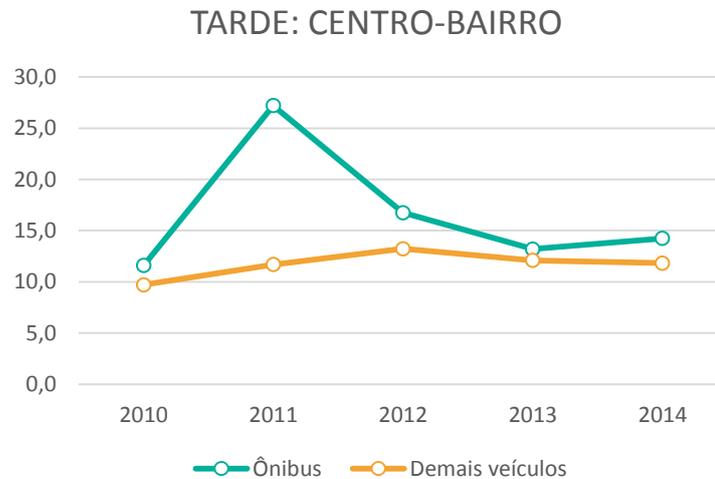
Fonte: Valores obtidos a partir da base de dados da SPTrans e da Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET; elaborado pelos autores

Figura 3.31 - Gráfico: Comparativo entre velocidades de ônibus e demais veículos ao longo dos anos, no período de pico da tarde, sentido bairro-centro



Fonte: Valores obtidos a partir da base de dados da SPTrans e da Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET; elaborado pelos autores

Figura 3.32 - Gráfico: Comparativo entre velocidades de ônibus e demais veículos ao longo dos anos no período de pico da tarde, sentido centro-bairro



Fonte: Valores obtidos a partir da base de dados da SPTrans e da Pesquisa de Monitoração da Fluidez da CET; elaborado pelos autores

Observando as figuras acima e levando em consideração os fatores listados anteriormente, pode-se concluir que, com as medidas que foram adotadas na via ao longo dos cinco anos analisados, houve melhora, mesmo que discreta em alguns casos, na velocidade dos automóveis e dos ônibus em todos os sentidos e horários.

Para os ônibus, o grande fator que contribuiu para o aumento de sua velocidade foram as faixas exclusivas de ônibus. A medida que permitiu aos táxis trafegarem na faixa exclusiva, fez com que esses interferissem na velocidade dos ônibus, embora só possam utilizar a mesma quando os táxis possuem passageiros.

No caso dos veículos em geral, como não foi possível estabelecer relação direta entre velocidade e fluxo, é provável que, nos primeiros anos, o volume de veículos tenha se reduzido devido a uma migração entre os modais, o que explicaria a queda de velocidade dos ônibus e o aumento na dos carros. Novamente, o valor da velocidade para este modal não é precisa no ano de 2011 (ano da implantação da faixa exclusiva) por causa da baixa quantidade de dados disponíveis.

No sentido centro-bairro, no período da manhã, houve uma inversão, do ano de 2012 para 2013, e os automóveis e motos passaram a ter velocidades superiores aos ônibus. Considerando todas as medidas tomadas na via, não é possível explicar o motivo da queda abrupta da velocidade dos ônibus, sendo que estas medidas deveriam fazê-la subir.

É possível concluir, neste caso, que nenhuma intervenção sozinha poderia causar as variações de velocidades encontradas, cabendo a uma combinação dessas alterar os valores de um ano para o outro. Além disso, a fiscalização com relação à invasão da faixa exclusiva possui um peso significativo, pois por medo de serem multados, os motoristas evitam circular por ela quando há câmeras ou agentes fiscais por perto.

4 SIMULAÇÃO

Para o estudo dos benefícios gerados pela implantação de um corredor de ônibus com sistema de funcionamento similar ao BRT, bem como dos diferentes elementos ITS possíveis de serem instalados, serão feitas simulações de tráfego na Av. Radial Leste, utilizando os dados coletados no estudo de caso, por meio do software PTV VisSim 7 (versão *thesis*) da empresa PTV Group.

4.1 O QUE É O VISSIM E COMO FUNCIONA

O PTV VisSim é um dos mais avançados simuladores de tráfego do mercado, possui grande flexibilidade e permite modelar geometrias complexas, parametrização individual de veículos e motoristas e um grande número de interfaces que oferece integração com outros sistemas, como controle semafórico e gerenciamento de tráfego.

Alguns casos em que o VisSim pode ser usado são:

- Modelo e estudo de qualquer geometria de viário, com qualquer prioridade e sinalização – de simples cruzamentos a cruzamentos semaforizados e com priorização para transporte público.
- Simula todos os modos de transporte e suas interações em um único software: pedestres, bicicletas, trens, metrô, ônibus, vans e carros.
- Determina a qualidade do tráfego em rodovias por meio de variáveis macroscópicas, como: tempo de viagem, comprimento de filas e geometria detalhada.
- Simula vários equipamentos de gestão de tráfego, como: medidores de velocidade, balanças de medição, avisos de congestionamento, etc.
- Auxilia o planejamento de transporte público.
- Determina os poluentes e calcula a emissão de CO₂ e outros gases baseados nas trajetórias e outras informações dentro do software.

4.2 O QUE FOI SIMULADO

Foram realizadas simulações no trecho escolhido da Av. Radial Leste, contemplando situações nos seguintes cenários: faixa exclusiva à direita (modelo atual) e corredor de ônibus – BRT (modelo do projeto SPObras).

Para se obter uma maior veracidade nos dados gerados pela simulação, foi preciso parametrizar os dados de entrada do modelo, de forma a reproduzir (simulando) a situação atual, na qual as informações foram fornecidas pelas empresas CET/SP e SPTrans. Com isso observou-se se os dados resultantes da simulação eram compatíveis com os dados fornecidos. Isso garante maior confiabilidade para os dados de “*input*” das simulações posteriores.

Baseado que foi observado, com relação às funcionalidades passíveis de serem simuladas (ferramentas do software), foi decidido fazer simulações de sete cenários que foram nomeados da seguinte maneira: situação atual; situação atual com *skip-stop*; corredor de ônibus; BRT (corredor com diminuição do tempo de parada); BRT com *skip-stop*; BRT com uma linha troncal de *headway* pequeno; e capacidade do BRT. Segue a descrição de cada um:

4.2.1 Situação atual

Este é o cenário onde foi feita a parametrização do modelo. Todas as outras simulações foram feitas com base nos dados de entrada encontrados nesta simulação. Optou-se por simular o pico da manhã, pois a ida das pessoas ao trabalho foi considerada como fator mais importante que o regresso, uma vez que elas precisam chegar em seus empregos no horário determinado.

4.2.2 Corredor de ônibus

Aqui foi simulada a mudança de faixa da direita para a esquerda, de acordo com o projeto da SPObras, sem outras alterações para simulação de elementos ITS, a fim de se fazer comparações posteriores.

4.2.3 Situação atual com *skip-stop*

Neste cenário foram mantidas as faixas de ônibus existentes e foi adotada a operação de *skip-stop*. Em algumas linhas de ônibus, o veículo público só oferece serviços para algumas paradas, aquelas consideradas as mais carregadas, que podem ser entendidas como troncais, e observado os possíveis ganhos dessa alteração.

4.2.4 BRT com diminuição de tempo de parada

Com o intuito de simular a cobrança desembarcada e o embarque em nível, os tempos, de parada dos ônibus coletivos nos pontos de ônibus do BRT, foram reduzidos, dado o fato dessas tecnologias propiciarem uma agilidade no embarque dos passageiros.

4.2.5 BRT com *skip-stop*

Assim como no cenário atual, também foi simulada a aplicação do *skip-stop* em algumas linhas do BRT.

4.2.6 BRT com uma linha troncal de *headway* pequeno

Nesse cenário foram removidas todas as linhas existentes em operação e no lugar destas foi colocada apenas uma linha troncal com *headway* de um minuto, simulando uma operação semelhante ao metrô.

4.2.7 Capacidade do BRT

Foram testados vários cenários, afim de encontrar a capacidade do BRT, quanto ao número de ônibus por hora que ele suporta, sem comprometer significativamente sua eficiência.

4.3 SIMULAÇÃO

A seguir está descrito o procedimento necessário para a parametrização e simulação em cada modelo.

4.3.1 Modelo da situação atual (faixas exclusivas à direita)

4.3.1.1 Geometria da via

A geometria do trecho (1km) da Av. Radial Leste e suas transversais foi criada no VisSim, utilizando como base uma imagem de satélite retirada do Google Maps, com a sua devida escala ajustada no software.

Para isso foram criados “links” para as pistas, isto é, definiu-se o número de faixas e suas respectivas larguras, e as conexões entre os “links”, para conectar cada um (link) da forma desejada.

As faixas exclusivas foram configuradas de maneira que apenas ônibus pudessem utilizá-las, com exceção para os 30 metros antes de curvas à direita e

para os 30 metros após esta interseção, em que a entrada de automóveis foi permitida, de acordo com o artigo “Circulação prioritária de ônibus” da CET.

4.3.1.2 Refinamento da rede

Para realizar o refinamento da rede, ou seja, deixar o modelo mais próximo da realidade, como, por exemplo, o comportamento dos condutores, foram executados os seguintes procedimentos:

- Definição de qual via tem preferência em cruzamento não semaforizados;
- Especificação de locais onde é necessária uma redução de velocidade (em curvas, por exemplo), que não é aplicada automaticamente pelo programa;
- Configuração do *Driving Behavior*, para permitir que as motos possam circular entre os automóveis.

4.3.1.3 Carregamento de dados

Com base nos dados retirados da Pesquisa de Monitoração da Fluidez de 2013, realizada entre os dias 10/09 e 25/09, foi configurada a composição do fluxo de veículos, de acordo com a porcentagem de cada tipo de veículo que compõe o volume de tráfego, com exceção de ônibus, que foram colocados separadamente, de acordo com a tabela 4.1:

Tabela 4.1 – Composição do volume de tráfego

Sentido Bairro - Centro				Sentido Centro - Bairro			
Motos	Caminhões	Automóveis	Total	Motos	Caminhões	Automóveis	Total
5582	29	12060	17671	1318	102	8463	9883
31,6%	0,2%	68,2%		13,3%	1,0%	85,6%	

Fonte: Pesquisa de Monitoramento e Fluidez da CET; elaborado pelos autores

Para se chegar aos dados de entrada de volume do tráfego foi necessário realizar diversas simulações, pelo método de tentativa e erro até que a comparação entre os dados de volume e velocidades médias fosse aceitável. O mesmo procedimento foi feito para os ônibus, os resultados obtidos estão apresentados na tabela 4.4.

Além disso, foram configurados os tempos de ciclo semaforicos, pautados também em dados fornecidos pela CET/SP. Para o trecho estudado existem dois

semáforos, nos cruzamentos com a Rua Dr. Fomm e a Rua Silva Jardim e um para pedestres, nos quais os tempos de ciclo semaforicos são os mesmos para o horário de pico, indicado na tabela 4.2:

Tabela 4.2 – Tempos do ciclo semaforico

	Radial Leste	Dr. Fomm e Silva Jardim
Tempo de vermelho	26 segundos	180 segundos
Tempo de amarelo	3 segundos	3 segundos
Tempo de verde	180 segundos	26 segundos

Fonte: Dados disponibilizados pela SPTrans; elaborado pelos autores

4.3.1.4 Configuração dos ônibus

Foram configuradas as linhas de ônibus que percorrem o trajeto, segundo a tabela 3.1, e seus respectivos *headways*, de acordo com as informações cedidas pela SPTrans. Os tempos de entrada de cada linha na rede foram estimados de acordo com seus *headways* (tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Linhas de ônibus e seus headways

Sentido bairro - centro		Sentido centro - bairro	
Linha	Headway	Linha	Headway
1177-31	20 minutos	3539-10	14 minutos
3539-10	15 minutos	3686-10	12 minutos
3686-10	12 minutos	3414-10	8 minutos
3414-10	8 minutos	3459-10	6 minutos
3459-10	6 minutos	4310-10	3 minutos
3459-21	10 minutos	4311-10	7 minutos
3459-23	15 minutos	4312-10	10 minutos
3424-24	20 minutos	4313-10	8 minutos
4310-10	3 minutos	4314-10	11 minutos
4311-10	7 minutos	4315-10	6 minutos
4312-10	10 minutos	4071-10	15 minutos
4313-10	8 minutos		
4314-10	11 minutos		
4315-10	6 minutos		
4071-10	14 minutos		

Fonte: SPTrans

Em seguida, foram alocados os pontos de ônibus, com base em suas posições nas imagens obtidas pelo Google Maps.

Por fim, o ajuste do tempo de parada de cada linha, em cada ponto de ônibus, foi realizado separadamente. Não foi possível a obtenção, junto à SPTrans, desses dados, nem as demandas de passageiros nos pontos de parada estudados. Portanto foi necessário estimar seus valores.

Como o tempo em que os ônibus ficam parados nos pontos influenciam diretamente na velocidade média final dos mesmos, a estimativa desses tempos foi feita de maneira que a velocidade resultante na simulação seja a mais próxima possível da velocidade encontrada nos cálculos feitos para as velocidades dos ônibus (a partir da base de dados da SPTrans). Este foi um processo demorado, devido à grande quantidade de simulações necessárias, até se atingir um valor adequado. O tempo médio de parada encontrado foi de 15 segundos.

4.3.1.5 Final da parametrização

Ao final da parametrização chegou-se aos valores mostrados na tabela 4.4 e cuja imagem é mostrada na figura 4.1.

Tabela 4.4 – Resultados da parametrização

Volumes				
Veículo	Ônibus		Demais veículos	
Sentido	Centro-bairro	Bairro-centro	Centro-bairro	Bairro-centro
CET/SPTrans	112	113	3294	5890
Simulado	103	114	3263	5887
Relação	92,0%	100,9%	99,1%	99,9%
Velocidades				
Veículo	Ônibus		Demais veículos	
Sentido	Centro-bairro	Bairro-centro	Centro-bairro	Bairro-centro
CET/SPTrans	21,1	26,3	33,8	12,4
Simulado	20,4	26,1	32,2	14,9
Relação	96,9%	99,4%	95,3%	120,3%

Fonte: Elaborado pelos autores

Uma observação com relação aos resultados encontrados é que não se conseguiu chegar a um valor mais próximo da velocidade dos demais veículos para o sentido bairro-centro, pois é uma velocidade muito baixa e, quanto mais se

diminuía a velocidade, mais esta começava a afetar a velocidade dos ônibus, devido ao congestionamento formado.

Figura 4.1 – Imagem do modelo operando uma simulação para a situação atual, com destaque para a localização das paradas de ônibus



Fonte: Elaborado pelos autores

4.3.2 Modelo do corredor de ônibus

4.3.2.1 Geometria da via

A nova geometria da via está sustentada pelos projetos da SPObras, disponibilizados pela SPTrans. Houve alterações em relação ao tamanho do canteiro e alargamento da via.

4.3.2.2 Refinamento da rede

Foram mantidas as configurações realizadas para o modelo atual, descritas no item 4.3.1.2.

4.3.2.3 Carregamento dos dados

Foram utilizados os mesmos dados de volume do modelo atual, encontrados no item 4.3.1.3.

As velocidades geradas pela simulação atual (verificadas na parametrização, item 4.3.1.5) serviram como parâmetros para a nova simulação.

Os tempos de ciclo semaforico permaneceram inalterados em relação à simulação do modelo atual.

4.3.2.4 Configuração dos ônibus

A SPTrans ainda não definiu o funcionamento operacional para o novo corredor. Acredita-se que novas linhas serão acrescentadas, mas como não há nenhum estudo, optou-se por manter as mesmas linhas em operação no presente momento e seus respectivos *headways*.

Os novos pontos de ônibus foram alocados conforme projeto da SPObras, e o tempo de parada permaneceu o mesmo da situação atual (figura 4.2).

Figura 4.2 – Imagem do modelo operando uma simulação para o cenário do corredor, com destaque para a localização das paradas de ônibus



Fonte: Elaborado pelos autores

4.3.3 Modelo do BRT com redução do tempo de parada (BRT com tempo de parada)

4.3.3.1 Geometria, refinamento da rede e carregamento dos dados

Todos os parâmetros referentes à geometria, refinamento da rede, e ao carregamento dos dados deste modelo são os mesmos do modelo do corredor de ônibus.

4.3.3.2 Configuração dos ônibus

Para este modelo decidiu-se simular a parada de ônibus mais rápida, possibilitada pela introdução da cobrança desembarcada e do embarque em nível, que acelera o embarque dos passageiros nos coletivos. Com isso o tempo de parada médio foi reduzido de 15 segundos para 10 segundos.

4.3.4 Modelo da situação atual com *skip-stop*

4.3.4.1 Geometria, refinamento da rede e carregamento dos dados

Todos os parâmetros referentes à geometria, refinamento da rede, e o carregamento dos dados deste modelo são os mesmos do modelo da situação atual.

4.3.4.2 Configuração dos ônibus

Neste modelo foram selecionadas algumas linhas de ônibus (tabela 4.5) que poderiam ser consideradas troncais, pois percorrem toda a Av. Radial Leste. Com isso, essas linhas foram configuradas de maneira a parar apenas em paradas de maior demanda, como os pontos em frente às estações de metrô, em ambos os sentidos.

Tabela 4.5 – linhas nas quais foi aplicado o *skip-stop*

Linhas com <i>skip-stop</i>
3459-10
3459-21
3459-23
3424-24
4310-10

Fonte: Elaborado pelos autores

Por terem a mesma linha base, as linhas 3459-10, 3459-21, 3459-23 e 3459-24 foram unificadas. Assim, a linha resultante passa a contar com uma frota maior, possibilitando um menor *headway*.

4.3.5 Modelo do BRT com *skip-stop*

4.3.5.1 Geometria, refinamento da rede e carregamento dos dados

Todos os parâmetros referentes à geometria, refinamento da rede, e ao carregamento dos dados deste modelo são os mesmos do modelo do corredor de ônibus.

4.3.5.2 Configuração dos ônibus

Assim como no modelo atual com *skip-stop*, foram configuradas as mesmas linhas da tabela 4.5 para operar com paradas apenas em pontos que se encontram próximas às estações de metrô.

4.3.6 Modelo do BRT com uma linha troncal de *headway* pequeno

4.3.6.1 Geometria, refinamento da rede e carregamento dos dados

Todos os parâmetros referentes à geometria, refinamento da rede, e ao carregamento dos dados deste modelo são os mesmos do modelo do corredor de ônibus.

4.3.6.2 Configuração dos ônibus

Neste cenário foi simulado o funcionamento de uma única linha troncal que atua ao longo de toda a extensão da Av. Radial Leste, retirando-se todas as outras linhas existentes. Essa linha foi configurada com um *headway* de 1 minuto entre veículos.

4.3.7 Modelo para encontrar a capacidade do BRT

4.3.7.1 Geometria, refinamento da rede e carregamento dos dados

Todos os parâmetros referentes à geometria, refinamento da rede, e ao carregamento dos dados deste modelo são os mesmos do modelo do corredor de ônibus.

4.3.7.2 Configuração dos ônibus

Para encontrar a capacidade limite do sistema de BRT foram feitas quatro simulações, variando o número de ônibus por hora. Em cada caso foram registrados os tempos em congestionamento, os tempos parados e os tempos de viagem médios dos ônibus coletivos. Para estas simulações todas as linhas atuais foram removidas e foi adicionada uma única linha na qual o tempo de *headway* entre os ônibus variava a cada simulação, de maneira a passar um determinado número de ônibus por hora.

4.4 RESULTADOS

4.4.1 Obtenção dos dados

As simulações foram feitas para o tempo de duração de uma hora e quinze minutos, de maneira que os primeiros quinze minutos possam ser desconsiderados, pois é o período de acomodação da rede, portanto os dados obtidos neste intervalo não são confiáveis.

Os resultados da simulação foram captados com as ferramentas “Data Collection Points”, que são pontos de coleta de dados e “Vehicle Time Travel” que é a ferramenta de medida de tempos de viagens. Esses medidores foram alocados de forma estratégica ao longo do modelo. Os pontos de coleta de dados foram posicionados no final, no início e na posição onde o ponto 2 da CET/SP da rota 7G está. Já os medidores de velocidade foram colocados de maneira que fosse possível medir o tempo de percurso de cada faixa, ou conjunto de faixas ao longo de 1 km de extensão do trecho.

Os pontos coletores de dados foram utilizados para se medir o volume de tráfego na via. Já o medidor de tempo de viagem foi utilizado para se obter não só o tempo de viagem, como também as velocidades médias de cada faixa, ou conjunto de faixas em estudo, os tempos médios em que os ônibus permaneceram parados e também os tempos em congestionamento. As tabelas 4.6 e 4.7 mostram exemplos de como esses dados são fornecidos pelo simulador.

Tabela 4.6 – Exemplo de saída dos dados de tempos de viagem, disponível pelo software VisSim

Vehicle time Travel				
Número da Simulação	Intervalo de simulação	Título do medidor de tempo de viagens	Número de veículos contados	Tempo médio de percurso
1	900-960	1: Faixa onibus C-B	2	203,6953
1	960-1020	1: Faixa onibus C-B	1	151,9551
1	1020-1080	1: Faixa onibus C-B	3	166,0901
1	1080-1140	1: Faixa onibus C-B	2	176,6008
1	1140-1200	1: Faixa onibus C-B	1	161,9298
1	1200-1260	1: Faixa onibus C-B	2	155,8169
1	1260-1320	1: Faixa onibus C-B	1	177,3513
1	1320-1380	1: Faixa onibus C-B	1	140,9297
1	1380-1440	1: Faixa onibus C-B	2	173,9914
1	1440-1500	1: Faixa onibus C-B	3	164,1581

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 4.7 – Exemplo de saída dos resultados de pontos de coleta de dados, disponível pelo software VisSim

Medidas dos pontos de coleta de dados									
Número da simulação	Intervalo de simulação	Ponto de coleta de dados	Aceler.	Distância	Comprim.	Número de veículos	Número de pessoas	Atraso em fila	Velocidade
1	900-1200	1: B-C Radial Saída	0,102343	1008,44	3,93449	317	310	24,18959	19,67736
1	1200-1500	1: B-C Radial Saída	0,073398	1008,341	3,842498	378	366	26,38254	20,32665
1	1500-1800	1: B-C Radial Saída	0,101805	1008,659	3,674581	341	332	33,17302	20,12637
1	1800-2100	1: B-C Radial Saída	0,094027	1008,68	3,886585	352	342	28,69659	20,2522
1	2100-2400	1: B-C Radial Saída	0,109944	1008,601	3,759487	356	347	23,10281	19,94925
1	2400-2700	1: B-C Radial Saída	0,116219	1008,411	3,767553	380	371	30,25395	20,10972
1	2700-3000	1: B-C Radial Saída	0,107612	1008,334	3,75919	374	365	25,69358	20,00034
1	3000-3300	1: B-C Radial Saída	0,110078	1008,518	3,880562	350	340	42,96229	20,21399
1	3300-3600	1: B-C Radial Saída	0,063253	1008,511	3,992981	360	349	27,71167	20,41284
1	3600-3900	1: B-C Radial Saída	0,087258	1008,618	4,010103	314	305	21,11783	20,33713

Fonte: Elaborado pelos autores

4.4.2 Resultados e análises

Aqui são apresentados e analisados os resultados obtidos das simulações, que compreendem os volumes de veículos em tráfego, as velocidades médias dos ônibus e dos demais modais, a relação entre os tempos de viagens dos ônibus em congestionamento, parado e em movimento sem interferência, e a capacidade das faixas de BRT simuladas.

4.4.2.1 Volumes e velocidades médias

Os resultados das simulações foram processados e com isso chegou-se a valores de volume de veículos (fluxos), em veículos por hora e de velocidades médias, em Km/h. As tabelas 4.8 e 4.9 refletem os resultados obtidos nas simulações, comparando os mesmos com os dados obtidos com a CET e a SPTrans.

Tabela 4.8 – Resultados para o sentido bairro - centro

	Bairro - Centro			
	Ônibus		Demais veículos	
	Volume	Velocidades	Volume	Velocidades
Base: Situação atual	114	26,1	5887	14,9
Corredor	114	25,1	4634	11,7
Comparação com a base	0,0%	-3,9%	-21,3%	-21,3%
Situação atual + Skip-Stop	114	29,1	5931	15,1
Comparação com a base	0,0%	11,5%	0,7%	1,5%
BRT + Skip-Stop	114	33,2	4634	11,7
Comparação com a base	0,0%	26,9%	-21,3%	-21,3%
BRT + tempo de parada	114	27,1	4634	11,7
Comparação com a base	0,0%	3,9%	-21,3%	-21,3%
BRT + linha troncal	60	26,3	4586	11,8
Comparação com a base	-47,4%	0,7%	-22,1%	-21,2%

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 4.9 – Resultados para o sentido centro - bairro

	Centro - Bairro			
	Ônibus		Demais veículos	
	Volumes	Velocidades	Volumes	Velocidades
Base: Situação atual	103	20,4	3263	32,2
Corredor	103	26,0	3282	38,3
Comparação com a base	0,0%	27,1%	0,6%	18,8%
Situação atual + Skip-Stop	103	20,2	3283	31,0
Comparação com a base	0,0%	-1,0%	0,6%	-3,8%
BRT + Skip-Stop	103	35,4	3282	38,3
Comparação com a base	0,0%	73,3%	0,6%	18,8%
BRT + tempo de parada	103	28,4	3282	38,3
Comparação com a base	0,0%	38,8%	0,6%	18,8%
BRT + linha troncal	60	27,8	3234	38,4
Comparação com a base	-41,7%	36,0%	-0,9%	19,2%

Fonte: Elaborado pelos Autores

Com a implantação do cenário do corredor de ônibus, percebe-se que há uma melhora nas velocidades médias no sentido centro-bairro em ambos os modais, 27,1% para ônibus e 18,8% para os demais veículos. Porém, no sentido bairro-centro, há uma piora na velocidade média dos automóveis de 21,3%, o que é muito impactante, uma vez que é o sentido crítico do pico da manhã, enquanto a velocidade dos ônibus não tem grande mudança, com uma leve piora de 3,9%, quase insignificativa.

Essa piora na velocidade do sentido bairro-centro para os demais veículos possivelmente se dá devido ao fato de ao se implantar o BRT, as duas faixas reversíveis, que funcionam atualmente, deixariam de funcionar, o que reduz o número de faixas para a mesma demanda de veículos. Isso explica também a melhora nas velocidades médias no sentido centro-bairro, pois ganha as faixas que seriam reversíveis para seu fluxo.

Como a faixa de ônibus no sentido bairro-centro se situa isolada, ao lado do metrô, sem cruzamento com vias locais interferindo seu trajeto, a implantação do corredor não afetou significativamente a velocidade média dos ônibus. Já no sentido centro-bairro o aumento na velocidade média pode também ser explicado pela eliminação da interferência gerada pelos cruzamentos das vias locais.

Para o cenário da situação atual com *skip-stop* observa-se que a velocidade média para os ônibus no sentido bairro-centro aumentou 11,5% enquanto para os outros aspectos em geral não ocorreu alteração significativa.

Já o cenário do BRT com a aplicação do *skip-stop* foi o qual foi encontrada uma melhora significativa nas velocidades médias dos ônibus, em ambos os sentidos, com uma melhora de 26,9% no sentido bairro-centro e 73,3% no sentido centro-bairro. Isso acontece possivelmente devido ao espaço existente para ultrapassagem nas regiões de parada do BRT, assim as linhas que operam com o *skip-stop* podem ultrapassar os coletivos que estão parados nos pontos de ônibus sem ter que esperar.

No cenário com tempo reduzido de parada também houve melhora na velocidade média dos ônibus. Porém, no sentido bairro-centro o aumento foi de 3,9%, ou seja, um valor pouco significativo. Já no sentido centro-bairro o aumento foi de 38,8%.

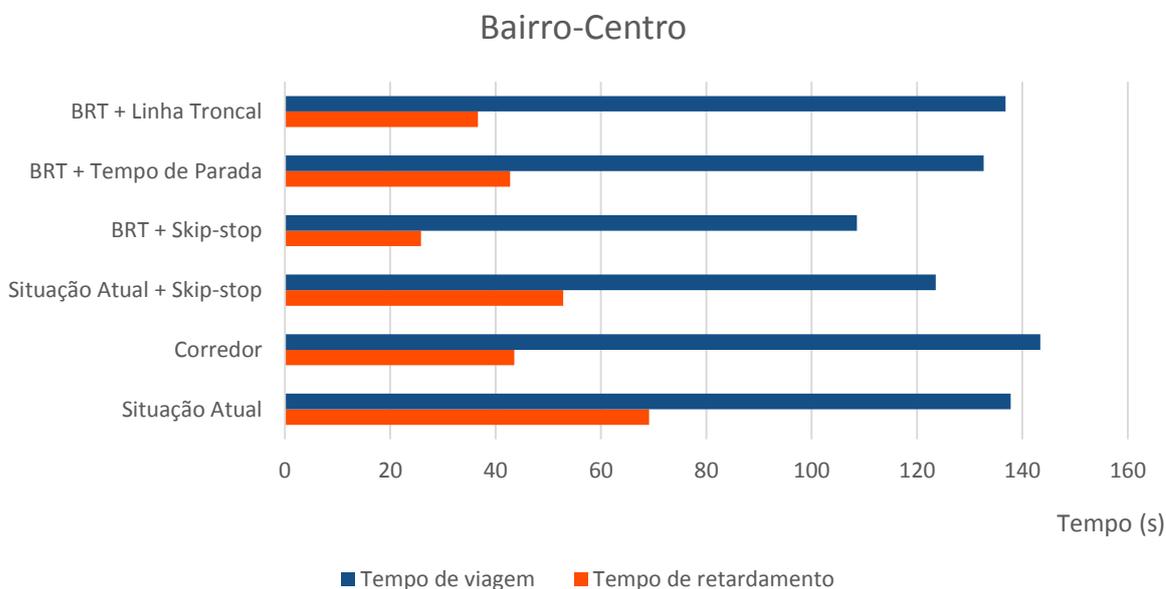
O cenário da linha troncal com *headway* de 1 minuto não mostrou uma melhora relevante para a velocidade dos ônibus no sentido bairro-centro, mas para o sentido centro-bairro o aumento na velocidade média foi de 36,0%.

4.4.2.2 Tempos de viagem

Com os dados dos tempos médios de viagem e tempos médios de congestionamento dos ônibus foi possível montar gráficos (figuras 4.3 e 4.4) para comparação entre todos os cenários simulados.

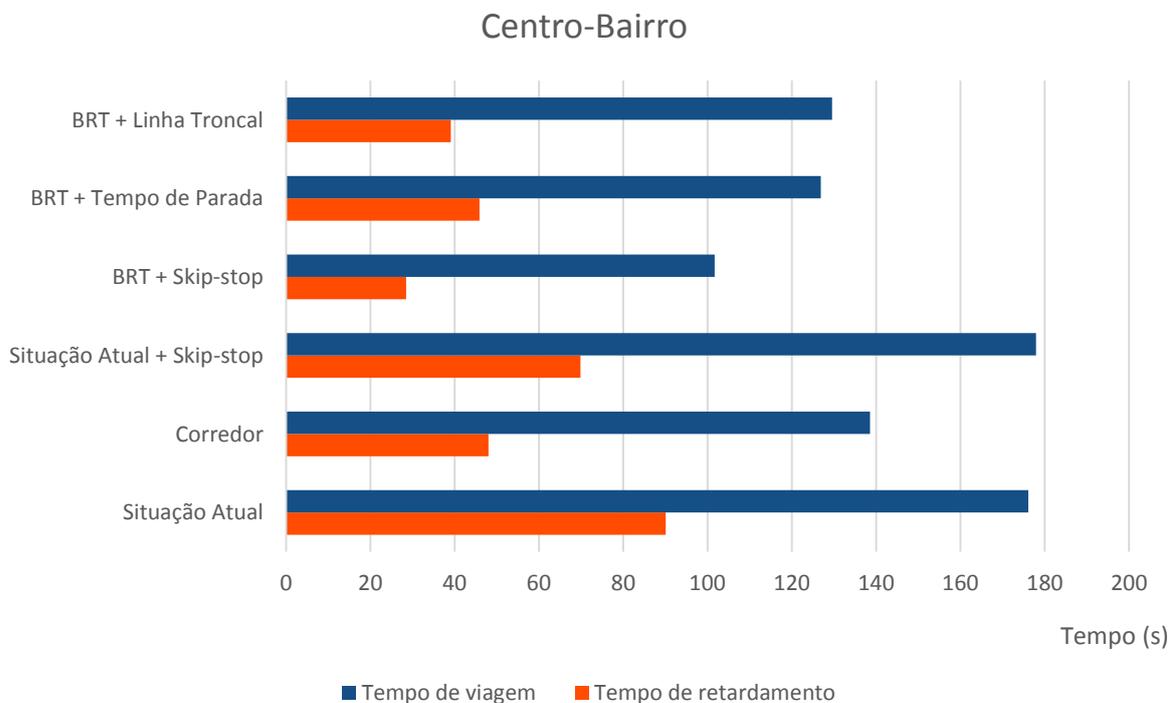
É possível verificar que o tempo de congestionamento é o principal fator que influencia o tempo de viagem, uma vez que apresentam a mesma tendência.

Figura 4.3 - Gráfico: Tempos de viagem e retardamento dos ônibus para o sentido bairro-centro no período da manhã



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 4.4 - Gráfico: Tempos de viagem e retardamento dos ônibus para o sentido centro-bairro no período da manhã



Fonte: elaborado pelos autores

Nota-se a vantagem do BRT em relação à situação atual, independentemente dos elementos ITS aplicados, principalmente no sentido centro-bairro. Além disso, a implantação da estratégia *skip-stop* é benéfica para ambos os modelos.

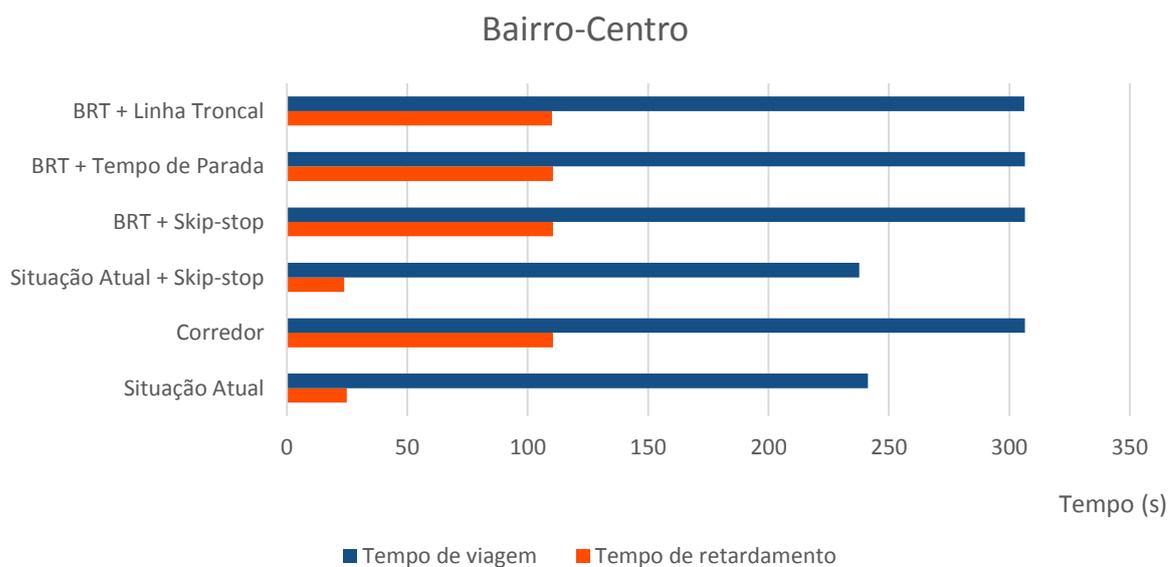
Como indicado nos gráficos, a melhor alternativa, que detém os menores tempos de viagem e de congestionamento, para ambos os sentidos, é a implantação do modelo BRT com o elemento de *skip-stop*.

Outro ponto a ser observado é que, em ambos os casos, a estratégia de *skip-stop* é mais vantajosa do que a aplicação de uma única linha troncal. Isso pode ser analisado como um bom resultado, considerando que o BRT conseguirá abrigar linhas que atendem diferentes destinos, com maior eficiência.

Percebe-se também uma sugestão de que a implantação de um sistema de BRT com a linha troncal tem tempos de congestionamentos menores em relação ao modelo BRT com as linhas atuais, mas o tempo total de viagem é superior.

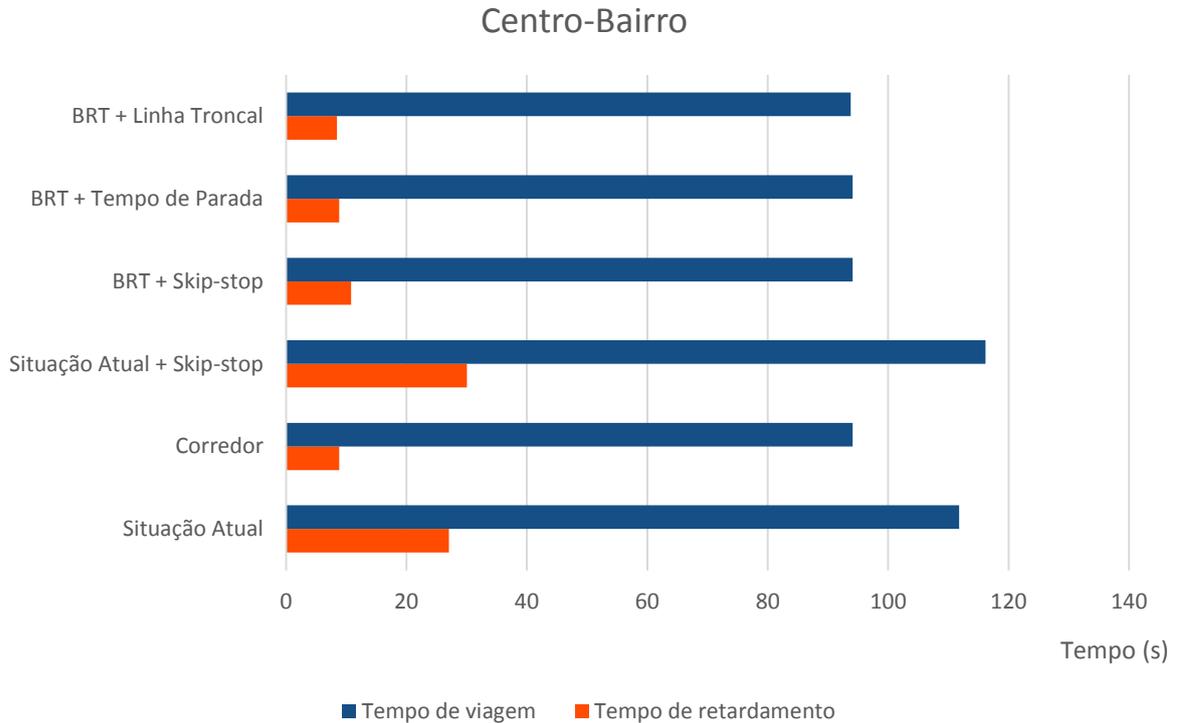
Para melhor compreensão dos resultados, também foram avaliados os tempos de viagem e retardamento para os demais veículos que circulam na via, a fim de analisar os impactos decorrentes de tais mudanças. Os gráficos abaixo (figuras 4.5 e 4.6) retratam as comparações entre os cenários:

Figura 4.5 - Gráfico: Tempos de viagem e retardamento dos demais veículos para o sentido bairro-centro no período da manhã



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 4.6 - Gráfico: Tempos de viagem e retardamento dos demais veículos para o sentido centro-bairro no período da manhã



Fonte: elaborado pelos autores

Como esperado, o tempo de viagem e o tempo de retardamento dos demais veículos aumenta drasticamente (chega a 345% no pior cenário) no sentido bairro-centro com a implantação do sistema BRT, em qualquer molde, ou do corredor. Isso acontece porque, como dito anteriormente, a nova estrutura viária elimina o funcionamento das faixas reversíveis, e o sentido bairro-centro, que conta com 6 faixas no período de pico da manhã na configuração atual, ficaria com apenas 4 no novo modelo.

Já para o sentido contrário, acontece o oposto, e o tempo de viagem e principalmente o tempo de retardamento dos demais veículos diminui consideravelmente (cerca de 16%) com a implantação do BRT ou corredor de ônibus. Da mesma forma, isso se deve ao fato dessa nova estrutura viária “recuperar” as duas faixas reversíveis, atualmente destinadas ao sentido bairro-centro no período de pico da manhã.

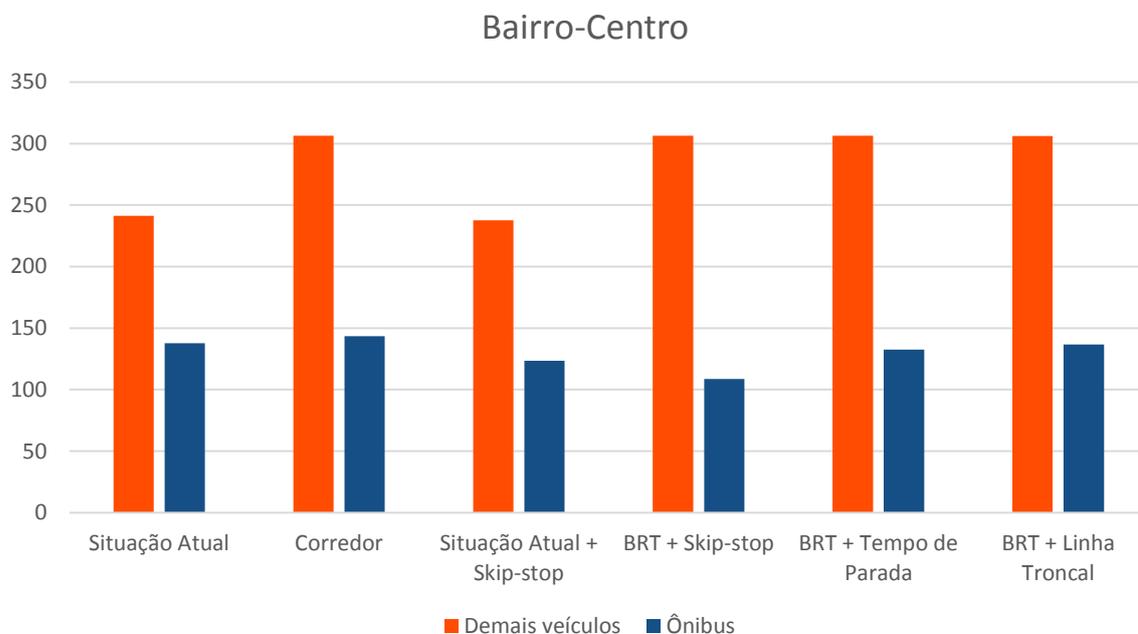
A variação dos tempos de viagem e de retardamento dos demais veículos entre cada situação do modelo BRT é muito pequena. Isso indica que a estrutura da

via e o número de faixas disponíveis tem um impacto muito mais significativo no deslocamento dos demais veículos do que o sistema operacional.

De forma geral, o modelo apontado como menos prejudicial para os demais veículos, considerando-se os dois sentidos seria o BRT com a linha troncal porém a diferença entre as demais configurações do BRT é pouco significativa.

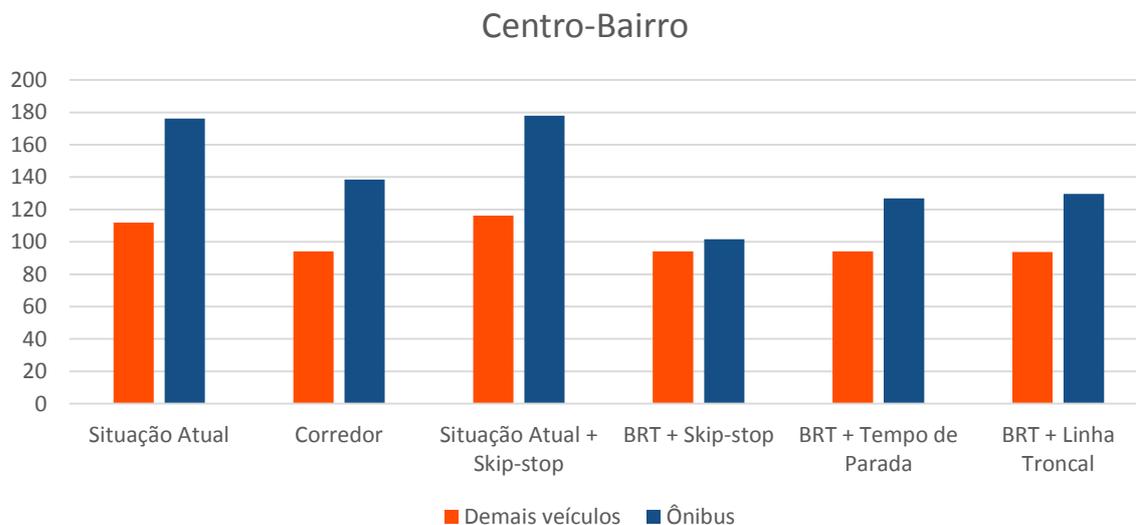
Os gráficos das figuras 4.7 e 4.8 fazem um comparativo entre os tempos de viagem dos ônibus e dos demais veículos para cada alternativa.

Figura 4.7 – Comparativo: tempo de viagem dos ônibus x demais veículos, no sentido bairro-centro, manhã



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 4.8 - Comparativo: tempo de viagem dos ônibus x demais veículos, no sentido centro-bairro, manhã



Fonte: elaborado pelos autores

É possível perceber que, para o sentido centro-bairro, a alternativa que melhor atende todos os tipos de veículos seria o BRT com a estratégia de *skip-stop*, uma vez que o tempo de viagem de ambos são muito próximos e menores em relação as demais situações. Já no sentido bairro-centro a melhor solução seria a configuração atual, também com *skip-stop*, pois não seria tão prejudicial ao demais veículos (nota-se aqui que a diferença de tempo de viagem entre a melhor solução para os ônibus é significativa em relação a alternativa que melhor atende todos os veículos).

Ainda, vale ressaltar que no sentido bairro-centro todos os cenários indicam um tempo de viagem menor para os ônibus (e melhor que a situação atual), o que representa um resultado muito positivo, já que este sentido foi definido como prioritário, pois representa a ida ao trabalho.

No sentido centro-bairro, por sua vez, o tempo de viagem dos demais veículos ainda é menor do que para os ônibus. A adoção de um novo modelo, conforme o gráfico acima, indica possível aproximação entre ambos.

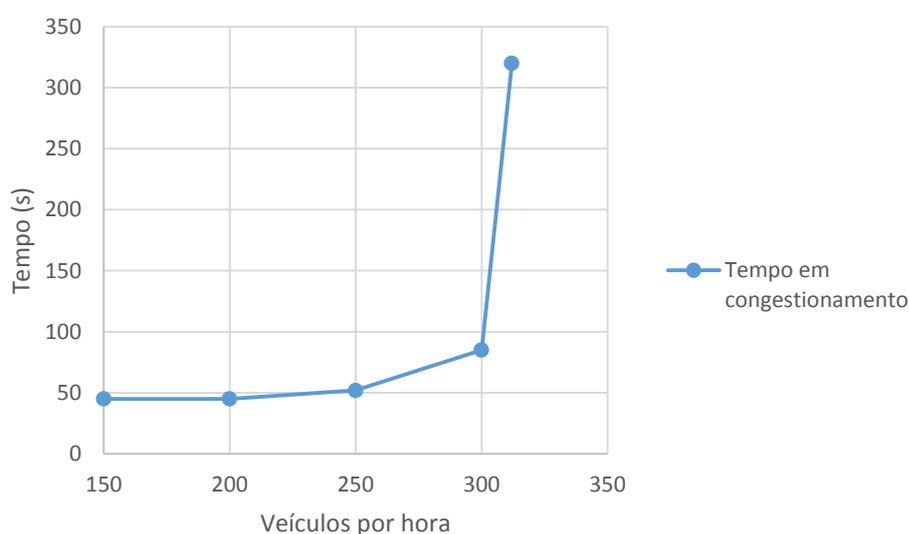
4.4.2.3 Capacidade do BRT

Para se descobrir a capacidade do BRT foram feitas 5 simulações, com apenas uma linha em funcionamento, na qual seu *headway* foi configurado de forma que ao final da 1 hora de simulação o total de ônibus que passou pelo sistema fosse

aproximadamente de 150, 200, 250, 300 e 350 ônibus por hora por sentido, cada valor em uma simulação.

A partir dos dados das simulações para o estudo da capacidade do BRT, foi feita uma análise relacionada ao tempo dos ônibus em congestionamento e o número de ônibus por hora operando no BRT, como mostra o gráfico da figura 4.9. Pode-se observar que, para uma demanda de 300 ônibus por hora, o sistema de BRT começa a funcionar com tempos médios de congestionamento maiores, e ultrapassando esse valor, esse tempo sobe abruptamente. Com isso, conclui-se que o sistema consegue comportar até 300 veículos por hora, sem que ocorra uma perda muito elevada de eficiência.

Figura 4.9 – Gráfico da capacidade do sistema de BRT



Fonte: Elaborado pelos autores

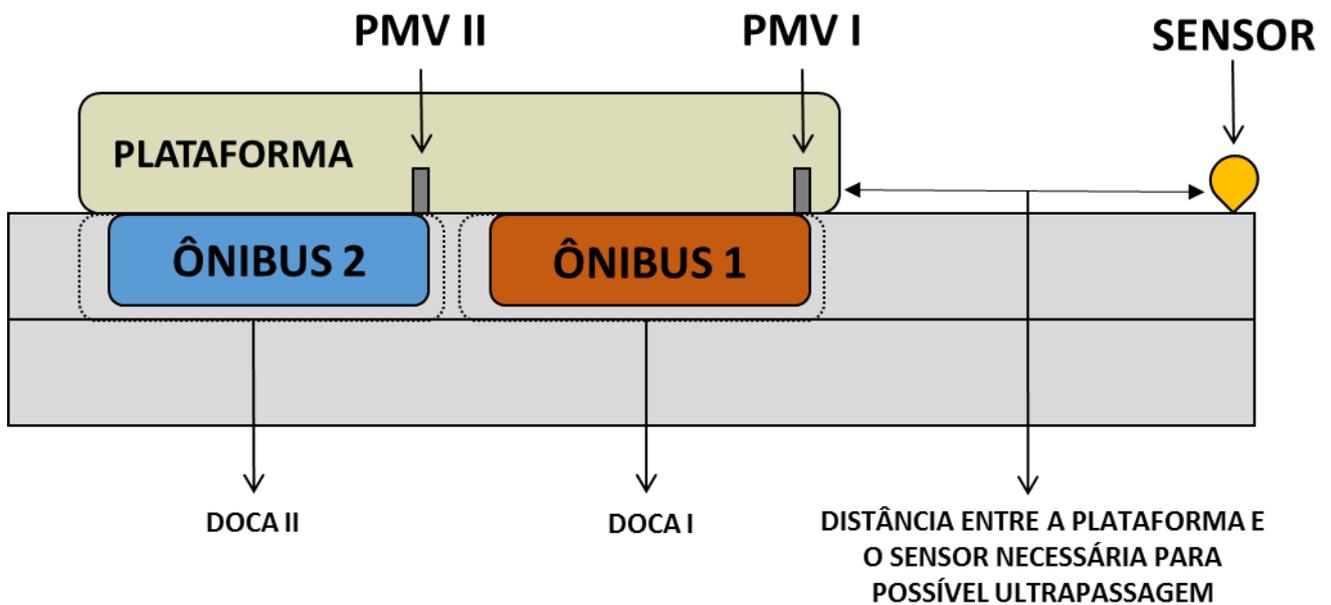
A capacidade encontrada é grande, mas não é impossível, dado que o projeto em estudo possui pontos que permitem até três coletivos parados simultaneamente e também a segunda faixa na região das paradas, que permite a ultrapassagem dos veículos parados.

4.5 SUGESTÕES PARA MELHORAR O DESEMPENHO DO BRT

Considerando que o Projeto Corredor Leste 1 contará com plataformas de 60m de extensão (espaço disponível para embarque, em cada sentido), algumas funcionalidades ITS podem ser implantadas para facilitar o embarque dos passageiros.

Uma alternativa seria a utilização de Painéis de Mensagem Variáveis (PMV) para mostrar, em tempo real, qual o próximo ônibus a chegar na plataforma e em que posição de parada ele irá estacionar. Dessa maneira, os passageiros que estão na plataforma podem aguardar próximo da posição de parada correta e evitar a confusão que geralmente ocorre na chegada do veículo, dado que as pessoas não sabem onde ele irá estacionar. A ilustração 4.10 esquematiza a situação.

Figura 4.10 - Modelo esquemático das posições de parada indicadas por PMV



Fonte: elaborado pelos autores

Um sensor localizado pouco depois de cada plataforma capta o sinal enviado pelo veículo. Essa informação é processada, de forma a estabelecer em qual doca o ônibus irá estacionar na próxima plataforma. Em seguida, essa informação é disseminada aos PMVs localizados na próxima plataforma e retorna ao veículo alertando qual será a doca (ajustada também de acordo com a presença ou não de veículos na plataforma no momento em que o sinal é recebido e na previsão de tempo de embarque para os mesmos).

Isso garante que o veículo que passa pelo sensor será o próximo a chegar na plataforma seguinte, uma vez que a única possibilidade de ultrapassagem é no momento da parada (o embarque pode demorar mais do que o ônibus que está imediatamente atrás – quando o embarque não tiver tempo de parada fixo, nos mesmos moldes do metrô - ou ele pode ser ultrapassado por um veículo que não tenha parada programada para todas as plataformas).

Essa funcionalidade, além de reduzir as filas que os ônibus enfrentam ao chegar nas plataformas, pode justificar uma possível redução no tempo de embarque, uma vez que os passageiros já estão organizados.

Outra medida possível de ser implantada na operação do BRT é a estratégia *skip-stop* em que determinados veículos pulam alguns pontos de parada, com objetivo de cumprir a programação de viagem e reduzir o tempo de viagem, principalmente nos horários de pico.

No caso do trecho estudado, a plataforma do metrô Belém seria aquela que receberia parada de todas as linhas, pois é considerada uma das mais críticas de toda a Av. Radial Leste, já que a quantidade de passageiros saindo do metrô é significativa.

Dentre as linhas que trafegam pelo trecho analisado, a linha 4310-10 - E. T. ITAQUERA/TERM. PQ. D.PEDRO II - poderia ser uma das escolhidas para adotar essa estratégia, pois é do tipo troncal-radial, percorre toda a extensão da Av. Radial Leste e conta com 36 veículos articulados.

Outra alternativa seria unir as linhas 3459-10 (ITAIM PAULISTA - TERM. PQ. D. PEDRO II), 3459-21 (ITAIM PAULISTA - TERM. PQ. D.PEDRO II), 3459-23 (CEMITERIO DA SAUDADE - TERM. PQ. D.PEDRO II) e 3459-24 (METRÔ BRESSER - ITAIM PAULISTA) em uma única linha, pois os trajetos são muito próximos e os pontos finais também. São todas do tipo radial e a frota total é composta por 18 veículos básicos (capacidade de 75 passageiros), 12 do tipo padron (capacidade de 84 passageiros) e 39 do tipo articulado. Essa linha poderia ter duas variações, uma semi-expressa, dentro dos limites do corredor BRT, e outra paradora.

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados das simulações indicaram que o cenário que propiciou melhor desempenho para os ônibus é o BRT com a estratégia de *skip-stop*.

As simulações permitiram observar que é possível alcançar uma demanda máxima de 300 ônibus por hora por sentido.

5 CONCLUSÕES

Tendo em vista a relevância da Avenida Radial Leste para a cidade de São Paulo e, considerando a situação atual da fluidez do tráfego nesta via, aliada a saturação da linha 3-Vermelha do Metrô, torna-se evidente a urgência de intervenções que propiciem melhoria ao transporte da região.

Os recentes investimentos em mobilidade urbana promovidos pelo governo, em todas as suas esferas, indicam que o transporte público vem ganhando espaço em suas agendas.

O Projeto Corredor Radial Leste 1 fundamenta o exposto nesse trabalho de formatura e abre margem para a elaboração de modelos operacionais, alguns aqui explorados.

A análise da Pesquisa de Monitoração da CET revelou que os semáforos não são o principal problema do retardamento dos veículos na Radial Leste, mas o excesso de automóveis e motocicletas na via que geram congestionamento e correspondem a maior parcela do tempo de retardamento dos veículos. Dessa forma, fica justificada a necessidade das faixas exclusivas destinadas aos ônibus.

Além disso, com o estudo das velocidades por meio da base de dados da SPTTrans ao longo dos anos, foi possível notar o impacto positivo que as faixas exclusivas propiciaram ao tráfego dos ônibus. Da mesma maneira, essa segregação impacta negativamente a velocidade dos demais veículos, como aponta a análise da Pesquisa de Monitoração da Fluidez.

Diversos outros fatores influenciaram as velocidades dos veículos particulares e coletivos, o que não permite uma interpretação pontual das variações no período estudado.

Em busca de alternativas para reduzir o tempo de viagem dos ônibus (aumentar a velocidade e diminuir o tempo de embarque e desembarque) foram realizadas simulações envolvendo a criação de um corredor localizado no canteiro central, aliado a tecnologias ITS.

O resultado de tais simulações confirmou a suspeita de redução significativa no tempo de viagem e aumento das velocidades com a implantação do modelo BRT. Ainda, os cenários simulados levaram à situação ideal de adoção do BRT com a estratégia *skip-stop*, que acarreta no melhor desempenho ao transporte público e no menor impacto para o deslocamento dos demais veículos.

Existem outras ferramentas dos Sistemas Inteligentes de Transportes que se encaixam no Projeto estudado, que não foram simuladas pois seria necessário um aprofundamento para se determinar como estas poderiam ser colocadas no simulador, e certamente influenciariam positivamente o sistema operacional do BRT.

Como trabalho futuro, além das ferramentas ITS, poderia ser colocada no simulador uma composição variada das frotas. Outro ponto sugerido seria o levantamento do carregamento dos ônibus e do fluxo de passageiros nas paradas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTP [Associação Nacional de Transportes Públicos]. **Sistemas Inteligentes de Transportes**. Série Cadernos Técnicos. Vol. 8. Brasília, 2012. 163 p.

APTA [American Public Transportation Association]. **Implementing BRT Intelligent Transportation Systems**. Washington, DC, 2010.

BRASIL. Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana. **Manual de BRT (Bus Rapid Transit) – Guia de Planejamento**. Brasília, 2008. 898 p.

CET [Companhia de Engenharia de Tráfego do Município de São Paulo]. **Análise da Influência da Velocidade Máxima Permitida Sobre o Valor da Capacidade**. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/media/412364/5-a-nt220-analise-da-influencia-da-velocidade-maxima.pdf>. Acesso em 23 nov 2015.

CET [Companhia de Engenharia de Tráfego do Município de São Paulo]. **Circulação prioritária de ônibus**. São Paulo, 2014. Disponível em: http://www.cetsp.com.br/media/392070/msuvol11_circulacaoprioritariadeonibus.pdf

CET [Companhia de Engenharia de Tráfego do Município de São Paulo]. **Pesquisa de Monitoramento da Fluidez - Desempenho do Sistema Viário Principal Volume e Velocidade 2010**. São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/media/228064/2010%20%20volumes%20e%20velocidades%20e%20an%C3%A1lise%20de%20dados.pdf>. Acesso em 12 jun 2015.

CET [Companhia de Engenharia de Tráfego do Município de São Paulo]. **Pesquisa de Monitoramento da Fluidez - Desempenho do Sistema Viário Principal Volume e Velocidade 2011**. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/media/228061/2011%20%20volumes%20e%20velocidades.pdf>. Acesso em 12 jun 2015.

CET [Companhia de Engenharia de Tráfego do Município de São Paulo]. **Pesquisa de Monitoramento da Fluidez Fluidez - Desempenho do Sistema Viário Principal Volume e Velocidade 2012**. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/media/228058/2012%20%20volumes%20e%20velocidades.pdf>. Acesso em 12 jun 2015.

CET [Companhia de Engenharia de Tráfego do Município de São Paulo]. **Pesquisa de Monitoramento da Fluidez Fluidez - Desempenho do Sistema Viário Principal Volume e Velocidade 2013**. São Paulo, 2014. Disponível em: http://www.cetsp.com.br/media/334435/relatorio_dsvp2013b.pdf. Acesso em 12 jun 2015.

CET [Companhia de Engenharia de Tráfego do Município de São Paulo]. **Pesquisa de Monitoramento da Mobilidade Fluidez - Desempenho do Sistema Viário Principal Volume e Velocidade 2014**. São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.cetsp.com.br/media/409155/msvp-2014-volume-e-velocidade.pdf>. Acesso em 23 nov 2015.

NTU [Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos]. **Faixas Exclusivas de Ônibus Urbanos – Experiências de Sucesso**. Brasília, 2013.

OLIVEIRA NETO, F.M. (2004). **Priorização do Transporte Coletivo por Ônibus em Sistemas Centralizados de Controle de Tráfego**. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 162 fl.

PERON, L. **Contribuição metodológica para aplicação de prioridade semafórica condicional em corredores de ônibus** - São Paulo, 2015. 116 p.

SÃO PAULO. Prefeitura de São Paulo - Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras. **Mobilidade Leste - Corredores**. São Paulo, 2013. Disponível em: http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/infraestrutura/sp_obras/mobilidade_urbana/index.php?p=157461. Acesso em 11 jun 2015.

SPTRANS [São Paulo Transportes]. **Anexo I – Item 1.4 – Dados Gerais do Sistema de Transporte Coletivo Público de Passageiros do Município de São Paulo.** São Paulo, 2015. Disponível em:

<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/transportes/noticias/index.php?p=205222>. Acesso em 9 nov 2015.

SPTRANS [São Paulo Transportes]. **Corredor Radial Leste.** Apresentação recebida da SPTrans. São Paulo, 2014.

SPTRANS [São Paulo Transportes]. **Itinerários de Linhas de Ônibus Municipais.** São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.sptrans.com.br>. Acesso em 11 jun 2015.

SPTRANS [São Paulo Transportes]. **Relatório Técnico dos Serviços Pré-embarque.** São Paulo, 2005. Disponível em: http://www.sptrans.com.br/pdf/biblioteca_tecnica/RELATORIO_TECNICO_PREEMBARQUE.pdf. Acesso em 28 nov 2015.

SUNKARI, S. R. ; P.S. BEASLEY; T. URBANIK II e D.B. FAMBRO (1995) **Model to Evaluate the Impacts of Bus Priority on Signalized Intersections.** Transportation Research Record No 1494, p. 117-123.

Anexo B:*Tabela 7.1 - Linhas de ônibus e suas respectivas utilizações da Radial Leste*

Linha	Destinos	Trecho utilizado na ida	Trecho utilizado na volta	Circulação
1177-31	Term. A. E. Carvalho/Estação da Luz	Av. Dr. Luís Aires, 1604 até 0; Av. Antônio Estevão de Carvalho, 2919 até 2372; Av. Antônio Estevão de Carvalho, 350 até Av. Alcântara Machado, 1	Av. Alcântara Machado, 0 até Av. Antônio Estevão de Carvalho, 202; Av. Antônio Estevão de Carvalho, 2222 até Av. Dr. Luís Aires, 1607	Dias úteis em horário de pico
2100-10	Term. Vila Carrão/Pça. Da Sé	Av. Alcântara Machado, 1749 até 1	Av. Alcântara Machado, 0 até 1500	Todos os dias
2101-10	Pça. Sílvio Romero/Pça. Da Sé (Circular)	Av. Alcântara Machado, 1749 até 1	Av. Alcântara Machado, 0 até 1500	Todos os dias
2101-41	Pça. Sílvio Romero/Vila Prudente (Circular)	Rua Melo Freire, 190 até 364	Av. Alcântara Machado, 4488 até Rua Melo Freire, 364	Dias úteis
2723-10	União de Vila Nova/Metrô Itaquera	Av. José Pinheiro Borges, 1172 até Av. Dr. Luís Aires, 864	Av. Dr. Luís Aires, 873 até Av. José Pinheiro Borges, 1195	Todos os dias
3029-10	Jd. Das Rosas/Metrô Tatuapé	-----	Rua Melo Freire, 190 até 3358	Todos os dias
3046-10	Vila Guarani/Tatuapé	Rua Melo Freire, 190 até 610	-----	Todos os dias
3139-10	Jd. Vila Formosa/Pça. João Mendes	-----	Av. Alcântara Machado, 0 até 1500	Todos os dias
3139-31	Jd. Vila Formosa/Pça. Da República	Av. Alcântara Machado, 1749 até 1	Av. Alcântara Machado, 0 até 1500	Dias úteis manhã/tarde
3141-10	Term. São Mateus/Term. Pq. D. Pedro II	Av. Alcântara Machado, 3371 até 1	Av. Alcântara Machado, 0 até 1500	Todos os dias
3160-10	Term. Vila Prudente/Term. Pq. D. Pedro II	Av. Alcântara Machado, 1749 até 1	Av. Alcântara Machado, 0 até 1500	Todos os dias
3161-10	Jd. Colorado/ Term. Pq. D. Pedro II	-----	Av. Alcântara Machado, 0 até 1500	Segunda a Sábado

Linha	Destinos	Trecho utilizado na ida	Trecho utilizado na volta	Circulação
3414-10	Vila Dalila/ Term. Pq. D. Pedro II	Av. Conde de Frontin, 2319 até Av. Alcântara Machado, 1	Av. Alcântara Machado, 0 até Av. Conde de Frontin,1938	Segunda a Sábado
3459-10	Itaim Paulista/ Term. Pq. D. Pedro II	Av. Conde de Frontin, 1265 até Av. Alcântara Machado, 1	Av. Alcântara Machado, 0 até Av. Conde de Frontin,2780	Todos os dias
3459-21	Cemitério da Saudade/Term. Pq. D. Pedro II	Av. Conde de Frontin, 1265 até Av. Alcântara Machado, 1	-----	Dias úteis pico manhã
3459-23	Metrô Bresser/ Itaim Paulista	Av. Alcântara Machado, 2248 até Av. Conde de Frontin, 2780	-----	Dias úteis pico tarde
3459-24	Itaim Paulista/ Term. Pq. D. Pedro II	Av. Conde de Frontin, 1265 até Av. Alcântara Machado, 1	-----	Dias úteis pico manhã
3462-10	Vila Santana/ Metrô Tatuapé	Av. Conde de Frontin, 1265 até Rua Melo Freire, 1	Rua Melo Freire, 190 até Av. Conde de Frontin, 2780	Todos os dias
3462-41	Jd. Vila Nova/ Metrô Tatuapé	Av. Conde de Frontin, 1265 até Rua Melo Freire, 1	-----	Dias úteis pico manhã
351F-10	Jaçanã/Term. Vila Carrão	Av. Alcântara Machado, 4488 até Rua Melo Freire, 364	Rua Melo Freire, 190 até 364	Todos os dias
3539-10	Cidade Tiradentes/ Metrô Bresser	Av. Antônio Estevão de Carvalho, 2221 até Av. Alcântara Machado, 2415	Av. Alcântara Machado, 2248 até Av. Antônio Estevão de Carvalho, 2373	Todos os dias
3686-10	Jd. São Paulo/ Term. Pq. D. Pedro II	Av. Dr. Luís Aires, 1604 até 871; Av. Antônio Estevão de Carvalho, 2919 até 2372; Av. Antônio Estevão de Carvalho, 350 até Av. Alcântara Machado, 1	Av. Alcântara Machado, 0 até Av. Antônio Estevão de Carvalho, 202 e de 2222 até 2918; Av. Dr. Luís Aires, 0 até 1607	Todos os dias
3721-41	Shop. C. L. Aricanduva /Metrô Itaquera (Circular)	Av. Dr. Luís Aires, 1636 até 544	Av. Dr. Luís Aires, 238 até 948	Todos os dias
3722-10	COHAB José Bonifácio/Metrô Penha	Av. Conde de Frontin, 968 até 1270	Av. Conde de Frontin, 1352 até 1938	Todos os dias
373M- 10	Jd. Guairacá/ Shop. Metrô Tatuapé	Av. Alcântara Machado, 4488 até Rua Melo Freire, 364	-----	Todos os dias

Linha	Destinos	Trecho utilizado na ida	Trecho utilizado na volta	Circulação
3761-10	3ª Divisão/Metrô Carrão	Av. Conde de Frontin, 949 até Rua Melo Freire, 1507	Rua Melo Freire, 2822 até Av. Conde de Frontin, 670	Todos os dias
3773-10	Res. Santa Bárbara/Metrô Carrão	Av. Conde de Frontin, 949 até Rua Melo Freire, 1507	Rua Melo Freire, 2822 até Av. Conde de Frontin, 770	Todos os dias
4025-10	Vila Califórnia/Metrô Tatuapé	Rua Melo Freire, 190 até 610	-----	Todos os dias
407C-10	Inácio Monteiro/ Penha	Av. Dr. Luís Aires, 1604 até 0; Av. Antônio Estevão de Carvalho, 2919 até 2372; Av. Antônio Estevão de Carvalho, 350 até 1	Av. Conde de Frontin, 2824 até Av. Antônio Estevão de Carvalho, 202; Av. Antônio Estevão de Carvalho, 2222 até 2918; Av. Dr. Luís Aires, 0 até 1607	Segunda a Sábado
407E-10	Jd. Santo André/Metrô Carrão	Av. Conde de Frontin, 949 até Rua Melo Freire, 1507	Rua Melo Freire, 2822 até Av. Conde de Frontin, 770	Todos os dias
407G-10	Jd. Nova Vitória/Metrô Carrão	Av. Conde de Frontin, 949 até Rua Melo Freire, 1507	Rua Melo Freire, 2822 até Av. Conde de Frontin, 770	Todos os dias
407I-10	Conj. Manoel da Nóbrega/Metrô Bresser	Av. Conde de Frontin, 949 até Av. Alcântara Machado, 2415	Av. Alcântara Machado, 2248 até Av. Conde de Frontin, 770	Todos os dias
407K-10	Term. São Mateus/Metrô Carrão	Av. Conde de Frontin, 949 até Rua Melo Freire, 1507	Rua Melo Freire, 2822 até Av. Conde de Frontin, 770	Todos os dias
407N-10	Term. Cid. Tiradentes/Metrô Penha	Av. Conde de Frontin, 968 até 1270	Av. Conde de Frontin, 1352 até 1938	Todos os dias
407P-10	Term. Cid. Tiradentes/Metrô Tatuapé	Av. José Pinheiro Borges, 111 até Rua Melo Freire, 1	Rua Melo Freire, 190 até Av. José Pinheiro Borges, 126	Todos os dias
4210-10	Term. Cid. Tiradentes/ Term. Pq. D. Pedro II	Av. Conde de Frontin, 949 até 0	Rua Melo Freire, 3304 até Av. Conde de Frontin, 770	Todos os dias
4310-10	E. T. Itaquera/ Term. Pq. D. Pedro II	Av. José Pinheiro Borges, 111 até Av. Alcântara Machado, 1	Av. Alcântara Machado, 0 até Av. José Pinheiro Borges, 126	Todos os dias
4311-10	Term. São Mateus/ Term. Pq. D. Pedro II	Av. Conde de Frontin, 949 até Av. Alcântara Machado, 1	Av. Alcântara Machado, 0 até Av. Conde de Frontin, 770	Todos os dias

Linha	Destinos	Trecho utilizado na ida	Trecho utilizado na volta	Circulação
4312-10	Jardim Marília/ Term. Pq. D. Pedro II	Av. Antônio Estevão de Carvalho, 27 até Av. Alcântara Machado, 1	Av. Alcântara Machado, 0 até Av. Conde de Frontin, 2836	Todos os dias
4313-10	Term. Cid. Tiradentes/ Term. Pq. D. Pedro II	Av. Conde de Frontin, 949 até Av. Alcântara Machado, 1	Av. Alcântara Machado, 0 até Av. Conde de Frontin, 770	Todos os dias
4314-10	Inácio Monteiro/Term. Pq. D. Pedro II	Av. Conde de Frontin, 949 até Av. Alcântara Machado, 1	Av. Alcântara Machado, 0 até Av. Conde de Frontin, 770	Todos os dias
4315-10	Term. Vila Carrão/Term. Pq. D. Pedro II	Rua Melo Freire, 2397 até Av. Alcântara Machado, 1	Av. Alcântara Machado, 0 até Rua Melo Freire, 3358	Todos os dias
4724-10	Metrô Patriarca/ V. Nhocuné (Circular)	Av. Antônio Estevão de Carvalho, 2222 até 2444; Av. Antônio Estevão de Carvalho, 3050 até 3458; Av. Antônio Estevão de Carvalho, 3479 até 3191	-----	Todos os dias
4735-10	Jd. Vera Cruz/ Metrô Carrão	Av. Conde de Frontin, 949 até Rua Melo Freire, 1507	Rua Melo Freire, 2822 até Av. Conde de Frontin, 770	Todos os dias
5141-10	Term. Sapopemba- Teotônio Vilela/ Term. Correio	Av. Alcântara Machado, 3371 até 1	Av. Alcântara Machado, 0 até 3434	Todos os dias
524L-10	Pq. São Lucas/ Tatuapé	Rua Melo Freire, 190 até 610	-----	Todos os dias
5630-10	Terminal Grajaú/Metrô Brás	-----	Av. Alcântara Machado, 783 até 1	Todos os dias
573H-10	Hosp. Sapopemba/ Metrô Bresser	-----	Av. Alcântara Machado, 1653 até 827; Av. Alcântara Machado, 948 até 1500	Todos os dias
575A-10	Div. São Caetano/Shop. Metrô Tatuapé	Av. Alcântara Machado, 4488 até Rua Melo Freire, 364	-----	Todos os dias

Linha	Destinos	Trecho utilizado na ida	Trecho utilizado na volta	Circulação
N308-11	Metrô Itaquera/Term. Pq. D. Pedro II	Av. Dr. Luís Aires, 967 até 238; Av. Antônio Estevão de Carvalho, 2919 até 2372; Av. Antônio Estevão de Carvalho, 350 até Av. Alcântara Machado, 1	Av. Alcântara Machado, 0 até Av. Antônio Estevão de Carvalho, 202; Av. Antônio Estevão de Carvalho, 2446 até 2918; Av. Dr. Luís Aires, 0 até 4077	Noturno
N401-11	Term. Vila Carrão/Term. Pq. D. Pedro II	Av. Alcântara Machado, 1749 até 1	Av. Alcântara Machado, 0 a 1500	Noturno
N407-11	Term. Vila Carrão/Metrô Belém	Rua Melo Freire, 851 até Av. Alcântara Machado, 4489	Av. Alcântara Machado, 3370 até Rua Melo Freire, 364	Noturno
N503-11	Term. São Mateus/Term. Pq. D. Pedro II	Av. Alcântara Machado, 3371 até 1	Av. Alcântara Machado, 0 a 1500	Noturno