

LUCIANO PERON

**CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA PARA APLICAÇÃO DE PRIORIDADE
SEMAFÓRICA CONDICIONAL EM CORREDORES DE ÔNIBUS**

São Paulo

(2015)

LUCIANO PERON

**CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA PARA APLICAÇÃO DE PRIORIDADE
SEMAFÓRICA CONDICIONAL EM CORREDORES DE ÔNIBUS**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Luiz Marte

São Paulo

(2015)

LUCIANO PERON

**CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA PARA APLICAÇÃO DE PRIORIDADE
SEMAFÓRICA CONDICIONAL EM CORREDORES DE ÔNIBUS**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de mestre em Engenharia de Transportes.

Área de Concentração: Sistemas de Informações Espaciais

Orientador: Prof. Dr. Claudio Luiz Marte

São Paulo

(2015)

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Peron, Luciano
CONTRIBUIÇÃO METODOLÓGICA PARA APLICAÇÃO DE PRIORIDADE SEMAFÓRICA CONDICIONAL EM CORREDORES DE ÔNIBUS / L. Peron -- versão corr. -- São Paulo, 2015.
120 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1.Sistemas inteligentes de transportes 2.Transportes (simulação)
3.Microsimulação I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Transportes II.t.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento desta pesquisa só foi possível graças à cooperação de algumas instituições e pessoas, a quem que gostaria de agradecer especialmente:

Ao meu orientador Claudio Luiz Marte, não apenas por acreditar no meu trabalho, mas por sua generosidade, estímulo e por ouvir com interesse todos os questionamentos ocorridos durante essa jornada. Agradeço por sua amizade.

Agradeço também aos professores Leopoldo Rideki Yoshioka e Jorge Eduardo Leal de Medeiros pelo apoio e por seus conselhos sempre assertivos e objetivos.

Aos meus filhos Melissa e Rafael e, especialmente à minha esposa Daniela, por sua compreensão, incentivo, carinho e dedicação às nossas crianças nos momentos em que estive ausente.

Agradeço também aos meus pais pela educação provida, sem a qual esse trabalho não seria possível.

Gostaria de agradecer também a colaboração da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo CET/SP, especialmente ao Paulo Seiti Ueta e ao Departamento de Simulação e Pesquisa de tráfego.

Especial agradecimento à PTV, pelo suporte e fornecimento da licença acadêmica do VISSIM, fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Em tempo, agradeço a todos que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos.” (Marcel Proust)

RESUMO

Esta pesquisa traz à discussão a implantação de Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS), em particular a funcionalidade *Transit Signal Priority* (TSP), ou Prioridade Semafórica, como uma solução a ser considerada para melhorar o desempenho de um corredor de ônibus. Os dados do Sistema Integrado de Monitoramento (SIM) foram empregados para identificar os locais com maior retardamento no Corredor Campo Limpo - Rebouças- Centro em São Paulo e, selecionado um trecho crítico, foi elaborada uma rede de microssimulação no software *PTV - Vissim*. A aplicação da prioridade semafórica foi feita através do VISVAP, controlador de lógica externo, no qual foram escritas as condicionantes de prioridade. O TSP foi simulado em quatro cenários distintos e, os resultados obtidos permitiram concluir que as expectativas verificadas no referencial teórico (por exemplo: aumento da velocidade média dos ônibus e automóveis), puderam ser comprovadas e, além disso, a prioridade semafórica condicional foi capaz de reduzir os retardos inclusive nas vias transversais não priorizadas.

Palavras-Chave: ITS - Sistemas Inteligentes de Transportes. TSP - *Transit Signal Priority*. VISSIM. VISVAP.

ABSTRACT

This research brings to discussion the implementation of Intelligent Transportation Systems (ITS), particularly the Transit Signal Priority (TSP) feature as a solution to be considered to improve the performance of a bus corridor. Data from a Monitoring Integrated System (*Sistema Integrado de Monitoramento - SIM*) were used to identify most significant delay points at *Campo Limpo - Rebouças- Centro* Corridor in *São Paulo* and, after selected a critical stretch, it was developed a microsimulation with PTV – Vissim software. The transit signal priority was made by VISVAP, external logic controller, in which were described the priority conditions. TSP was simulated in four different scenarios and, the obtained results have concluded that expectations examined in academic referencial (for example: increase in the average speed of buses and cars), could be confirmed, and, in addition, the transit signal priority was able to decrease delays in cross ways too (not prioritized).

Keywords: BRT. Intelligent Transport Systems (ITS). Transit Signal Priority. VISSIM.VISVAP.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2-1 - Circulação de ônibus em vias de uso compartilhado	21
Figura 2-2 - Circulação de ônibus em faixa exclusiva à direita.....	22
Figura 2-3 - Circulação de ônibus do BRS no Rio de Janeiro	23
Figura 2-4 - Circulação de ônibus em faixa exclusiva à direita no contra fluxo	24
Figura 2-5 - Circulação de ônibus em faixa exclusiva à esquerda	25
Figura 2-6 - Circulação de ônibus em vias segregada - BRT	28
Figura 2-7 - Classificação das principais estratégias de controle em tempo real para sistemas de transporte público coletivo.....	32
Figura 2-8 - Integração entre as funcionalidades ITS.....	34
Figura 2-9 - Arquitetura em um sistema centralizado em tempo real	38
Figura 2-10 - Principais estratégias de prioridade ativa	41
Figura 2-11 - Representação da prioridade semafórica Incondicional (absoluta).....	43
Figura 2-12 - <i>Bunching</i> no corredor Transantiago - Chile	44
Figura 2-13 - Representação simplificada da prioridade semafórica condicional.....	47
Figura 2-14 - Lógica do TSP condicional em Portland, EUA.....	49
Figura 2-15 - Arquitetura do TSP em Portland, EUA.....	50
Figura 2-16 - Exemplo de Programação em VISVAP.....	58
Figura 3-1- Corredor Campo Limpo - Rebouças - Centro	61
Figura 3-2 - Compartilhamento da via exclusiva com sistema metropolitano.....	63

Figura 3-3 - Trecho Selecionado	66
Figura 3-4 - Mapa de temperatura - Rastreamento por GPS - SIM.....	68
Figura 3-5 - <i>Heat Map</i> - Detalhamento do trecho a ser estudado	70
Figura 4-1 - Exemplos de Itinerários Cadastrados no VISSIM	73
Figura 4-2 - Exemplo dos dados obtidos: Frequências e Tempos entre os pontos de parada	74
Figura 4-3 - Seção típica da Rua da Consolação.....	75
Figura 4-4 - <i>Links</i> , conectores e pontos de parada do trecho selecionado	76
Figura 4-5 - Áreas de Conflito e Áreas de Redução de Velocidade	76
Figura 4-6 - <i>Vehicle Inputs</i>	77
Figura 4-7 - <i>Vehicle Inputs</i> 1 e 2	78
Figura 4-8 - <i>Vehicle Inputs</i> 4	79
Figura 4-9 - <i>Vehicle Inputs</i> 5	79
Figura 4-10 - Simulação de tráfego	80
Figura 4-11 – Alterações no comportamento dos motociclistas	81
Figura 4-12 - Simulação de tráfego - Detalhe.....	82
Figura 4-13 – Hipótese considerada (resumo)	87
Figura 4-14 - Comparação: Localização dos Atrasos.....	90
Figura 4-15 – Localização dos Sensores nos respectivos cenários	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Tipos de medidas para priorização da circulação dos ônibus	20
Tabela 2.2 - Aplicação dos Modelos de Simulação	55
Tabela 3.1 - Dados operacionais do corredor	62
Tabela 3.2 - Atributos de qualidade do transporte público coletivo	65
Tabela 3.3 - Identificação dos retardamentos no trecho estudado.....	69
Tabela 4.1 - Volumes observados x simulados (s).....	84
Tabela 4.2 - Comparativo entre os tempos médios de viagem, por sentido, para os modos auto e ônibus, no trecho simulado	89
Tabela 5.1 - Tempo médio gasto nas interseções – (minutos).....	97
Tabela 5.2 - Comparativo entre as velocidades médias km/h.....	97
Tabela 5.3 - Redução dos tempos médios de viagem	98

LISTA DE EQUAÇÕES

(1).....	72
(2).....	84

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 - Média dos atrasos veiculares (não priorizados) sob as três estratégias de prioridade	48
Gráfico 2.2 - Arquitetura do TSP em Portland, EUA.....	51
Gráfico 2.3 - Determinação da velocidade do veículo a partir da relação fluxo-velocidade	56
Gráfico 3.1 - Velocidade média anual por faixa horária e sentido	63
Gráfico 3.2 - Tempo médio de viagem anual por faixa horária e sentido	64
Gráfico 4.1 – Análise de Regressão para o Modo Auto	85
Gráfico 4.2 - Análise de Regressão para o Modo Ônibus	85
Gráfico 4.3 - Análise de Regressão para o Modo Motos	86
Gráfico 4.4 - Análise de Regressão para todos os Modos	86

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTP	Associação Nacional dos Transportes Públicos
APTA	American Public Transportation Association
ATMS	Advanced Traffic Management Systems
AVI	Automatic Vehicle Identification
AVL	Automatic Vehicle Location
BRS	Bus Rapid System
BRT	Bus Rapid Transit
CCO	Centro de Controle Operacional
CET/SP	Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo S.A
CVC	Contagem Veicular Classificada
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EMTU	Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos S.A.
FETRANSPOR	Federação das Empresas de Transportes de Passageiros do Estado do Rio de Janeiro
FHP	Fator hora/Pico
GIS	Geographic Information Systems
GPS	Global Positioning System
HCM	Highway Capacity Manual
ITS	Intelligent Transportation Systems
NTU	Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos
SIM	Sistema Integrado de Monitoramento
SPTRANS	São Paulo Transportes S.A.
TRB	Transportation Research Board

TSP	Transit Signal Priority
VAP	Vehicle Actuated Programming
VISVAP	Visual Vehicle Actuated Programming
VLT	Veículo Leve Sobre Trilhos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Descrição do Problema	13
1.2	Objetivos e Justificativa	14
1.3	Estrutura do trabalho	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Medidas de prioridade para o transporte público coletivo	17
2.1.1	Medidas de prioridade para ônibus	18
2.1.2	Operações em sistemas de transporte público coletivo	28
2.2	Sistemas inteligentes de transportes - ITS	32
2.2.1	Arquitetura e definições	32
2.2.2	Sistemas de priorização semafórica	34
2.3	Simulação de Tráfego	53
3	O CORREDOR REFERENCIAL	60
3.1	Corredor Campo Limpo - Rebouças - Centro	60
3.2	Trecho selecionado	65
4	CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM 5.40	71
4.1	Rede de Simulação	71
4.1.1	Características Operacionais do Trecho	71
4.1.2	Tráfego Geral	71
4.1.3	Transporte Coletivo	72
4.1.4	Infraestrutura	75
4.2	Modelo Comportamental	80
4.3	Calibração do modelo	82
4.4	Cenários	87
4.4.1	Estudos de hipóteses	87
4.4.2	Rede de Referência	89

4.4.3	Cenários de avaliação	90
5	RESULTADOS.....	93
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	99
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
	ANEXO A.....	106
	ANEXO B	107
	ANEXO C.....	112
	APÊNDICE A	115

1 INTRODUÇÃO

A ineficiência dos atendimentos de transporte público e os conflitos observados entre os diferentes modos que utilizam as vias da cidade, associado à falta de políticas públicas que incentivem a mobilidade de forma equilibrada, fazem com que o automóvel, seja ainda, o principal modo de deslocamento na cidade. Se comparado com o transporte público coletivo, o automóvel é percebido como mais confortável, flexível e rápido. Além disso, nos grandes centros urbanos existe uma tendência de as pessoas se comprometerem com mais atividades, valorizando ainda mais as características agilidade e flexibilidade proporcionadas pelo automóvel (BERGSTAD et al., 2009).

Os acidentes e o convívio com outros modos de transporte em vias não priorizadas, além de influenciar negativamente a velocidade operacional dos ônibus, geram atrasos, aumentam os tempos de viagem, os custos operacionais e fazem com que o ônibus perca atratividade, pois os atendimentos tornam-se irregulares. Redman et al. (2012), analisaram os principais atributos que têm potencial para atrair os usuários de automóveis, dentre os mais efetivos, destacam-se a frequência¹ e a regularidade², pois estão ligados diretamente às percepções, motivações e contextos individuais.

Portanto, medir o desempenho de um sistema de transporte público coletivo é importante porque proporciona informações sobre a qualidade do serviço prestado ajudando a diagnosticar eventuais problemas e indicar soluções. Neste sentido, os Sistemas Inteligentes de Transportes oferecem funcionalidades voltadas para gestão, planejamento, arrecadação e operação que visam aperfeiçoar o desempenho dos sistemas de transportes, tornando-o mais atrativo para usuários de outros modos. Esta pesquisa busca investigar a aplicação de ITS, mais especificamente o TSP, como forma de melhorar o desempenho operacional de um corredor de ônibus.

1 Frequência: Número estipulado de viagens unidirecionais por unidade de tempo ou período fixado, (veículos/hora).

2 Regularidade: É a pontualidade de um dado serviço em relação ao horário programado percebido pelo passageiro. (OORT, 2011).

1.1 Descrição do Problema

O problema abordado nesta pesquisa está vinculado ao questionamento sobre os possíveis benefícios que a aplicação dos sistemas inteligentes de transportes pode proporcionar para uma operação de transporte público coletivo.

Um dos fatores mais relevantes para um serviço de transporte público coletivo eficiente é a regularidade oferecida aos seus usuários. Segundo Carrasco (2011), os investimentos direcionados para melhorar a regularidade de um sistema beneficiam tanto os operadores como os usuários, tornando o sistema mais atrativo para aqueles que utilizam outros modos de transporte para seus deslocamentos.

No entanto, as medidas de prioridade para o transporte público coletivo, usualmente praticadas, consistem em intervenções no sistema viário tais como a implantação de faixas ou vias exclusivas, além das mais diversas estratégias operacionais. Contudo, elas acarretam elevados custos de implantação. Não raramente, são necessárias desapropriações e adequações no sistema viário, incluindo implantação de obras-de-arte, desvios, acessos e outras intervenções ocasionando, durante o período de obras, transtornos à população lindeira e problemas de fluidez do tráfego.

De outra forma, os Sistemas Inteligentes de Transportes podem proporcionar novas soluções, como exemplo: Sistema Avançado de Gerenciamento de Tráfego (ATMS), descrito por Silva (2000) como o conjunto de tecnologias que buscam reduzir o congestionamento em vias urbanas através dos sistemas de sinalização. Conforme destaca o ITS America (2005), os benefícios alcançados variam conforme a peculiaridade do sistema, porém observa-se que geralmente os resultados obtidos estão relacionados ao aumento da velocidade e, conseqüentemente à redução dos tempos de viagem, melhoria na aderência à grade horária e, portanto, no aumento da regularidade. Os impactos negativos consistem no aumento dos atrasos para o modo não priorizado.

As respostas para o questionamento sobre o quanto os ITS podem contribuir para a melhoria da operação de um corredor de ônibus e seus impactos no transporte individual, serão obtidas com o auxílio de microsimulação.

Portanto, esta pesquisa visa propor uma metodologia para implantação de TSP e, através de microssimulação, avaliar os ganhos operacionais obtidos pela introdução dos ITS a um corredor existente.

1.2 Objetivos e Justificativa

O principal objetivo desta pesquisa é investigar o eventual aumento da velocidade e redução dos tempos de viagem do transporte coletivo, proporcionado pela aplicação de ferramentas ITS, especificamente o *Transit Signal Priority* (TSP). Para tanto, tomou-se como referência para as simulações, um trecho de aproximadamente dois quilômetros do Corredor Campo Limpo - Rebouças - Centro, no qual foram avaliados os impactos diretos (no transporte público coletivo) e os indiretos (nos modos não priorizados) decorrentes da implantação do TSP.

A principal justificativa para a elaboração desta pesquisa vem da percepção dos usuários a respeito do conjunto dos corredores da cidade de São Paulo. Segundo a Pesquisa de Imagem do Transporte 2012, encomendada pela Associação Nacional dos Transportes Públicos (ANTP), os usuários percebem o sistema de corredores de ônibus de forma satisfatória. Consideram o atendimento como sendo abrangente e confortável. No entanto, a análise pormenorizada de cada um dos corredores revela longos tempos de percurso devido às dimensões da cidade e à falta de prioridade de circulação. Os tempos de percurso não são percebidos positivamente pelos usuários segundo essa pesquisa

Os principais retardamentos nos trechos mais críticos dos corredores de ônibus são causados, principalmente, devido à espera nos pontos de embarque e nos semáforos. Constata-se que metade do tempo de viagem é gasto no deslocamento do veículo e a outra metade é dividida em tempos de espera nos pontos de embarque e nos semáforos (WHATELY, 2012).

Esta pesquisa investiga priorização do transporte público coletivo e seus impactos nos modos não priorizados, por meio da prioridade semafórica.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho é organizado em seis capítulos, a começar por esta introdução, a qual define o tema, os objetivos, justificativas e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo é abordada a revisão bibliográfica, sobre três temas fundamentais para esta pesquisa: a prioridade para o transporte público coletivo, os sistemas inteligentes de transporte e o *software* de microsimulação.

No capítulo três é apresentado o corredor Campo Limpo - Rebouças - Centro e identificado o trecho crítico, com base nos pontos de retardamentos, ou seja, o trecho do corredor onde os ônibus são submetidos aos maiores retardos ocasionados por interseções semaforizadas sem prioridade e pontos de parada. Para esta análise foram utilizados os dados do sistema de monitoramento da SPTRANS.

O quarto capítulo trata da abordagem prática da pesquisa e está dividido em duas etapas. Na primeira etapa o modelo de simulação é construído e nele inseridos os atributos necessários para as primeiras rodadas do modelo. A obtenção do modelo calibrado encerra essa etapa. A segunda etapa aborda a elaboração dos modelos estratégicos de prioridade semafórica, que serão escritos no *Visual Vehicle Actuated Programming* (VISVAP), módulo auxiliar do VISSIM que elabora, via utilização de fluxogramas, os requisitos para prioridade semafórica. A lógica escrita para este trabalho é apresentada no Anexo C. Na sequência esses modelos são aplicados sobre uma base calibrada e obtidos os primeiros resultados. Ainda neste capítulo são testados quatro cenários de implantação do TSP e na sequência são analisadas as medidas de desempenho.

Os capítulos finais cinco e seis são dedicados às discussões e análises dos resultados das simulações frente os resultados já obtidos em estudos apresentados na revisão bibliográfica. Por fim, são feitas as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros, destacando sugestões que poderão facilitar o desenvolvimento de novas pesquisas sobre o tema.

Em resumo, a proposta metodológica está estruturada da seguinte forma:

Capítulo I - Introdução, Objetivos e Justificativa.

Capítulo II - Montagem de um referencial teórico:

- Medidas prioritárias para o transporte público coletivo;
- Funcionalidades de ITS específicas para o sistema de gerenciamento de tráfego e prioridade semafórica.

Capítulo III - Aplicação:

- Especificação do corredor a ser estudado;
- Identificação de trechos com problemas operacionais (AVL);
- Caracterização do trecho a ser estudado: oferta de transporte;

Capítulo IV- Construção do modelo: VISSIM 5.40.

- Infraestrutura viária + Oferta de TP e TI e Calibração;
- Construção do modelo estratégico de prioridade no VISVAP;
- Simulações dos Cenários;
- Resultados das Simulações;

Capítulo V - Análises e discussões sobre os resultados.

Capítulo VI - Conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

Capítulo VII - Referências Bibliográficas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O conteúdo deste capítulo está dividido em três partes, oferecendo referencial teórico sobre: (1) Medidas de prioridade para o transporte público coletivo, no qual são identificados os tipos de priorização, suas principais características e aplicações; (2) Sistemas Inteligentes de Transportes, onde são tratados os temas referentes à arquitetura de ITS e, mais especificamente, sobre os sistemas de prioridade semafórica e respectivas medidas de desempenho e métodos de avaliação; (3) Simulação de Tráfego, item no qual são apresentadas as principais características dos modelos de microssimulação de tráfego, no caso o VISSIM, utilizado nesta pesquisa.

2.1 Medidas de prioridade para o transporte público coletivo

Tradicionalmente, as questões de transporte, circulação e mobilidade têm sido tratadas de maneira isolada. Questões como planejamento urbano (uso do solo), implantação e gestão do sistema viário, gestão dos serviços de transporte público coletivo, gestão das operações de trânsito, tratamento de serviços emergenciais e outras atividades inter-relacionadas com as condições de circulação são comumente administradas pelo poder público de forma estanque. Esta forma de organização dos serviços públicos está se tornando alvo de discussões e deverá sofrer modificações estruturais de acordo com o novo modelo de mobilidade urbana³.

As políticas públicas podem incentivar ou reprimir a demanda por transportes, ou apenas promover a migração de usuários de um modo para outro. Algumas políticas que impactam diretamente a demanda por transportes têm sido adotadas nas grandes cidades. Em São Paulo foram estabelecidas restrições à circulação de veículos pesados, rodizio (em função da placa) e prioridade para circulação de veículos de transporte coletivo, através da implantação de corredores e mais recentemente as faixas exclusivas.

³ **Lei de Mobilidade Urbana 12.587/12:** A Lei de Mobilidade exige a integração de políticas de planejamento e de mobilidade nas cidades brasileiras.
Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm

De acordo com Ferronato (2002), essas medidas de prioridade ao transporte público coletivo, mais especificamente o sistema de ônibus, podem dificultar o uso do transporte individual e a partir disso promover a migração dos usuários para o modo coletivo, mais eficiente e menos poluente, porém nem sempre mais confortável.

2.1.1 Medidas de prioridade para ônibus

As primeiras regulamentações de prioridade ao transporte coletivo, sobre os demais veículos, remontam à década de 70, na *Vienna Convention on Road Traffic*, onde os ministros de transportes dos países europeus se encontraram e fizeram as primeiras recomendações sobre o tema. A Alemanha e a Suíça, em 1970, foram os pioneiros na implantação das recomendações da convenção de Viena. Posteriormente, outros países europeus regulamentaram a prioridade para o transporte coletivo. Desde essa época, outros países, tais como Austrália, Estados Unidos, Japão, Canadá e Brasil, regulamentaram a prioridade sobre os demais veículos (TRB, 2003, *apud* Durães, 2007).

Quando o ônibus disputa o espaço com os veículos particulares, na maioria das vezes, ocorre redução da velocidade e, conseqüentemente, aumento do tempo de viagem, consumo de combustível e de custos operacionais. Como resultado ocorre maior irregularidade no serviço, desconforto para os passageiros e redução da capacidade de transporte. Estes fatores interferem negativamente no desempenho do sistema, acarretando a elevação dos custos que compõem a tarifa.

O esquema de prioridade para os veículos de transporte público coletivo pode ter efeito sobre a demanda quando é notável o resultado dessa prioridade na qualidade dos serviços prestados. Quando o sistema como um todo se encontra congestionado, as medidas de priorização proporcionam significativo aumento da velocidade média e, portanto, menores tempos de viagem, tornando o sistema mais atrativo. A decisão de utilizar ou não o transporte público coletivo depende da qualidade do serviço em relação aos demais modos (FERRONATTO, 2002).

Em Cambridge, na Inglaterra, foram estabelecidas diversas restrições ao uso do automóvel. Dentre as principais estão: a proibição de estacionamento durante o período do dia em determinadas áreas e proibição da circulação de automóveis

entre as 10h e 16h. No entanto, foram implantados estacionamentos integrados ao transporte público coletivo e adquiridos novos veículos, mais confortáveis e modernos (ERIKSSON, 2011).

A prioridade para o ônibus nem sempre requer investimentos diretos no sistema de transporte público coletivo. Por exemplo, medidas que restringem o uso do automóvel, principal concorrente na disputa de espaço no sistema viário, podem colaborar para a melhoria do desempenho dos ônibus (FOURSQUARE INTEGRATED TRANSPORTATION PLANNING; NATIONAL BUS RAPID TRANSIT INSTITUTE, 2011).

Para melhor descrever estes tratamentos é necessário identificar o grau de separação que eles proporcionam em relação ao tráfego geral e, conseqüentemente, o grau de controle que se pode ter sobre a movimentação dos veículos de transporte coletivo, ou seja, determinar o nível de segregação da via. Na Tabela 2.1 são apresentados os principais tipos de medidas de priorização que podem ser implantados no sistema viário (ou medidas físicas de prioridade), conforme NTU (2008):

Tabela 2.1 - Tipos de medidas para priorização da circulação dos ônibus

Número	Tipo	Aplicação
1	Uso compartilhado (Ônibus convencional)	Transporte coletivo ⁴ Tráfego geral ⁵ Sistemas locais ⁶
2	Faixa à direita	Transporte coletivo Tráfego geral em condições especiais ⁷ Sistemas Locais
3	Faixa à direita + Integração Tecnológica. BRS - (<i>Bus Rapid Service</i>)	Transporte coletivo Veículos autorizados ⁸ Sistemas troncais ⁹
4	Faixa à esquerda	Transporte coletivo Veículos autorizados Sistemas troncais
5	Via exclusiva	Sistemas troncais
6	Via segregada	Sistemas troncais

Fonte: Adaptado de NTU (2008).

2.1.1.1 Uso compartilhado (tráfego misto)

O uso compartilhado da via ou tráfego misto não pressupõe tratamento viário específico para o transporte coletivo. Ou seja, não há segregação, sendo a infraestrutura compartilhada por todos os modos. Este tipo de uso é recomendado somente onde os volumes de tráfego são baixos ou em sistemas locais. No entanto, é o tipo mais aplicado nas cidades brasileiras devido ao baixo custo de implantação e manutenção. É apresentado na próxima ilustração um exemplo de uso

4 Transporte coletivo: O termo em questão refere-se ao sistema público de transporte coletivo sobre pneus, independentemente da jurisdição municipal ou metropolitano.

5 Tráfego geral: Compreende todos os modos que circulam por determinada via, independentemente do porte, função ou força motriz.

6 Sistemas Locais: O termo refere-se ao sistema de transporte público coletivo que desempenha função de alimentador do sistema principal ou troncal. Em geral o sistema local opera com veículos de menor capacidade e maior mobilidade, pois teoricamente trafegam em vias de menor gabarito.

7 Tráfego geral em condições especiais: Refere-se à possibilidade de uso do espaço reservado aos ônibus, para o tráfego geral sob condições especiais. Exemplo: acidentes de trânsito que interrompem o fluxo de vias não priorizadas.

8 Veículos autorizados: Trata-se de veículos que prestam serviços emergenciais. Exemplo: viaturas de polícia, ambulâncias ou viaturas do corpo de bombeiros. Em São Paulo, os táxis são autorizados a trafegar nas faixas exclusivas ou corredores, desde que estejam com passageiro embarcado.

9 Sistemas troncais: O termo refere-se ao sistema de transporte público coletivo que desempenha papel estrutural. Geralmente opera com veículos de maior capacidade, como os ônibus articulados ou biarticulados, que absorvem a demanda do sistema alimentador e fazem a distribuição dos passageiros em Terminais integrados com o sistema de alta capacidade como o Trem e o Metrô.

compartilhado da via, onde os ônibus disputavam o viário com os demais veículos, antes da implantação da faixa exclusiva na Avenida 23 de Maio em São Paulo.

Figura 2-1 - Circulação de ônibus em vias de uso compartilhado

Características

Veículos com baixo desempenho Operacional
 Baixa Regularidade
 Segurança Comprometida
 Embarques e desembarques desordenados
 Baixo nível de conforto
 Baixa velocidade



Fonte: NTU (2008).

2.1.1.2 Faixa Exclusiva à direita (no fluxo)

São faixas de tráfego, à direita do fluxo, reservadas para tráfego exclusivo do transporte público coletivo (ônibus). São identificadas por sinalização horizontal e eventualmente demarcadas com tachões para evitar a invasão desse espaço por veículos não autorizados. De acordo com Gardner et al. (2009), essas faixas são normalmente implantadas em vias onde o fluxo está próximo do limite suportado pela via (nível de saturação). Trata-se de vias onde há muita oferta de transporte público coletivo, porém os indicadores de desempenho, tais como: velocidade média, regularidade e tempos de viagem, são comumente prejudicados em virtude das interferências com o tráfego geral.

De acordo com a Companhia de Engenharia de Tráfego (CET), São Paulo contava em outubro de 2013, com um total de 346,7 km de faixas exclusivas: os 224,6 km implantados em 2013 se somam aos 122,1 km antes existentes. A Figura 2-2 ilustra a circulação dos ônibus em faixa exclusiva à direita.

Figura 2-2 - Circulação de ônibus em faixa exclusiva à direita

Características

- Prioridade sobre tráfego geral
- Maior velocidade
- Maior regularidade
- Maior confiabilidade
- Maior segurança
- Possibilidade de operar no contra fluxo
- Possibilidade de integração tecnológica - BRS / RJ



Fonte: (NTU, 2008).

2.1.1.3 Bus Rapid Service (BRS)

O *Bus Rapid System* (BRS) é um corredor não segregado fisicamente, exclusivo para ônibus, que foi criado no Rio de Janeiro em 2011. A sua função é reduzir o congestionamento, organizando o tráfego e o transporte coletivo em densos bairros tradicionais da cidade. Dentre os principais objetivos apontados pela Secretaria de Transportes do Município e pela Rio/Ônibus estão: a identificação da via priorizada para o transporte público coletivo, o aumento da velocidade operacional dos ônibus, permitir maior fluidez na circulação viária dos ônibus, racionalização da operação com a otimização da frota, a redução de viagens e o aumento da ocupação média dos ônibus, além de reduzir o consumo de combustíveis e as emissões de poluentes e impactar positivamente na mobilidade da cidade. Em 2013 cerca de 40% dos passageiros de ônibus do município eram atendidos com os sete corredores já implantados entre 02.2011 a 09.2013, que somavam aproximadamente 20,5km (FETRANSPOR, 2013).

Entre os principais benefícios do reordenamento da rede de ônibus e da priorização do transporte público coletivo destacam-se: a redução dos custos urbanos (derivados de acidentes, emissão de poluentes, tempo perdido etc), e também o ganho de velocidade, especialmente nos horários de pico. Com o aumento da

velocidade foi possível reduzir em 10% (média) a frota operacional que circula no BRS, sem prejudicar a frequência dos atendimentos. A ilustração a seguir apresenta o funcionamento do BRS.

Figura 2-3 - Circulação de ônibus do BRS no Rio de Janeiro

Características

Prioridade sobre tráfego geral

Maior velocidade

Maior regularidade

Maior confiabilidade

Compartilhamento com Táxis
(passageiros a bordo)

Possibilidade de integração
tecnológica (Sistema de
Informações ao Usuário, Sistemas
de Monitoramento e Fiscalização
(invasão de faixa)

Automóveis proibidos de circular
continuamente por mais de duas
quadras



Fonte: (FETRANSPOR, 2013).

2.1.1.4 Faixa exclusiva à direita (no contra fluxo)

Nessas faixas o ônibus circula no sentido oposto ao fluxo da via. Para minimizar os problemas de orientação de tráfego, implanta-se à esquerda do fluxo normal, mantendo a regra geral de circulação em via de mão dupla. Os principais objetivos são conservar as rotas dos ônibus existentes quando a via passa a ser de mão única, para não prejudicar o atendimento aos usuários lindeiros do transporte coletivo.

Em São Paulo, a CET implantou em 1980 a faixa exclusiva no contra fluxo na Avenida Brigadeiro Luiz Antônio, que continua em operação.

A implantação deste tipo de medida requer alguns cuidados adicionais, principalmente com pedestres, que podem não perceber a aproximação dos ônibus que circulam no contra fluxo, geralmente em velocidades mais altas que o tráfego geral. A seguir é apresentada uma ilustração com as principais características para esta medida de prioridade.

Figura 2-4 - Circulação de ônibus em faixa exclusiva à direita no contra fluxo



Fonte: (CET/SP, 1980).

2.1.1.5 Faixa à esquerda (canteiro central)

As vias exclusivas à esquerda, junto ao canteiro central, também definidas pelo ITS America (2005) como *busways*, são caracterizadas pelo uso exclusivo dos ônibus e por oferecerem melhores condições para implantação de operações diferenciadas, com veículos de maior capacidade e estações implantadas no mesmo nível de acesso dos veículos. Segundo NTU (2008), esse tipo de faixa não requer necessariamente que haja segregação física, no entanto, ressalta que quanto maior a segregação da via melhor será o desempenho dos veículos. Importante destacar que a segregação total, possibilita inclusive criar locais de ultrapassagens, normalmente em pontos de parada e, com isso operar com linhas paradoras, expressas e semi-expressas. Nessas faixas são acomodados até 60

veículos/hora/sentido. A seguir é apresentada uma ilustração de uma implantação à esquerda no Corredor 9 de Julho em São Paulo.

Figura 2-5 - Circulação de ônibus em faixa exclusiva à esquerda

Características

Prioridade sobre tráfego geral.

Maior velocidade e regularidade.

Maior segurança.

Imagem positiva.

Média capacidade de transporte.

Interferências com linhas de passagem e táxis (passageiros a bordo).

Eventuais desapropriações para implantação das vias e estações.

Integração com ITS.



Fonte: (NTU, 2008).

2.1.1.6 Via segregada - *Bus Rapid Transit* (BRT)

Segundo definição do *The National Bus Rapid Transit Institute (NBRTI)*, BRT é um sistema de transporte rápido por ônibus que oferece um serviço operacionalmente flexível e dotado de tecnologias avançadas para maior qualidade e diminuição do atraso dos usuários.

Uma das principais vantagens dos sistemas BRT é a possibilidade de oferecer um serviço mais rápido e regular proporcionado pela segregação física. Por outro lado, em centros urbanos consolidados podem surgir algumas restrições para implantação deste tipo de equipamento (WORCESTERSHIRE, 2007). A seção transversal de um corredor BRT pode requerer espaços indisponíveis ou a necessidade de desapropriação de áreas privadas, que muitas vezes acaba elevando os custos de implantação, podendo inviabilizar o projeto (NTU, 2011).

2.1.1.6.1 Elementos do BRT (NTU, 2011):

- Espaço viário dedicado:
 - principal característica de um sistema BRT;
 - proporciona aos ônibus operarem com velocidades médias superiores às praticadas em vias de tráfego misto ou faixas exclusivas;
 - em locais onde não há oferta generosa de espaço no sistema viário, o corredor BRT pode operar com faixas adicionais para ultrapassagem apenas nas estações;
 - pavimentos devem ser dimensionados para suportar o efeito dinâmico dos veículos. As condições do pavimento influenciam diretamente o desempenho dos veículos e o conforto aos passageiros;
- Estações e Terminais:
 - geralmente as estações são os principais gargalos dos sistemas convencionais e BRT. O dimensionamento apropriado das estações evita a formação de filas e conseqüentemente atrasos na programação horária;
 - o espaçamento entre as estações é outro atributo importante, pois influencia diretamente na velocidade média dos veículos;
 - proporcionam interface física entre usuários e operadores;
 - devem ser dotadas de sistemas de informações aos usuários *on-line*;
 - operações de embarque e desembarque em nível. Espaçamento reduzido entre o veículo e a plataforma da estação;
- Veículos:
 - assim como o sistema viário dedicado, estações e terminais, os veículos também respondem por grande parte da identidade de um sistema BRT;
 - os veículos BRT devem ser definidos considerando sua forte influência sobre a capacidade ofertada, dotados de tecnologia de comunicação entre veículos e veículos com o centro de controle operacional;
 - os veículos devem possuir portas largas e niveladas com as plataformas das estações e terminais;

- Geralmente os veículos BRT operam serviços troncais e, portanto são veículos de maior capacidade de transporte, como articulados e biarticulados;
- sistemas de Informações e Controle:
- A operação do sistema BRT deve ser, rápida, segura e confiável;
- promovem informações em tempo real aos usuários (antes da viagem - nas estações e terminais e aos passageiros - dentro do veículo);
- geram prioridade aos veículos em interseções semaforizadas, reduzindo os atrasos e aumentando a velocidade operacional;
- fiscalizam eventuais invasões ao viário dedicado;
- utilizam tecnologias de controle em tempo real dos veículos (sistema de monitoramento). Resposta rápida aos operadores em situações emergenciais, atrasos, panes ou interrupções no serviço. Maior controle das frequências de partidas e regularidade dos *headways*¹⁰.

São estes diferenciais que, combinados e somados, permitem maior qualidade e eficiência do sistema BRT e um incentivo à sua utilização, portanto, vão ao encontro do objetivo de atrair usuários do transporte individual para o transporte público coletivo. De forma simplificada, pode-se resumir a filosofia de um sistema BRT como: “pense metrô, faça ônibus” (KOEHLER, 2009). A Figura 2-6 apresenta alguns detalhes do BRT em Guangzhou, China.

¹⁰ Tempo decorrido entre a passagem de dois veículos sucessivos de uma mesma linha, num sentido, por um ponto de referencia. Representa o inverso da frequência.

Figura 2-6 - Circulação de ônibus em vias segregada - BRT

Características

- Prioridade absoluta
- Sem interferências
 - tráfego geral
 - interseções semaforizadas
- Maior regularidade
- Maior confiabilidade
- Maior segurança
- Imagem positiva
- Média capacidade de transporte
- Integração com ITS
- Eventuais desapropriações para implantação das vias e estações
- Operação em tempo real



Fonte: (ITDP, 2013).

Para buscar maior eficiência no sistema de transporte, mesmo em vias exclusivas, existem estratégias operacionais que são praticadas no mundo todo. O item a seguir aborda estas estratégias, tomando como premissa, a existência de um sistema de controle, gerenciamento e monitoramento de frota em tempo real.

2.1.2 Operações em sistemas de transporte público coletivo

De acordo com Koehler (2009), o principal objetivo da operação em tempo real nos sistemas de transporte público coletivo é otimizar o desempenho. Ou seja, busca corrigir possíveis desvios ou perturbações no serviço para que o sistema opere de acordo com o especificado no planejamento e programação operacional. Esses desvios ou perturbações podem ser originados interna ou externamente ao sistema. A seguir alguns possíveis exemplos.

Desvios Internos:

- ocasionados por comportamento não previsível do condutor do veículo;
- planejamento inadequado da programação horária;
- dimensionamento equivocado da oferta de transporte;
- falhas mecânicas de manutenção.

Desvios externos:

- interferências decorrentes de acidentes de trânsito;
- programação semaforica inadequada;
- condições climáticas adversas;
- questões relacionadas à segurança (assaltos).

2.1.2.1 Estratégias de controle operacional - Tempo Real

As várias estratégias de operação em tempo real para sistemas de transporte público coletivo pressupõem a existência de comunicação entre a via, veículo e centro de controle operacional, ou seja, funcionalidades ITS relacionadas ao grupo de serviços de Gerenciamento do Transporte Público. Essas estratégias são assim descritas, de forma resumida, de acordo com Koehler (2009).

- **Retenção ou *holding*:** ação que determina a retenção ou atraso do ônibus por determinado tempo num ponto ou estação (terminal) quando este estiver adiantado em relação ao plano de horários ou com o espaçamento *headway* abaixo do especificado. A retenção pode reduzir significativamente a variação no espaçamento entre os ônibus e com isto reduzir o tempo médio de espera dos viajantes¹¹ nos pontos. Como desvantagem pode ocorrer um aumento no tempo de viagem dos ônibus e conseqüentemente dos passageiros (embarcados).

¹¹ Viajantes: Representa qualquer indivíduo (humano) que utiliza os serviços de transporte. Este ator pode ser um condutor, pedestre ou passageiro (ABNT, 2012).

- **Salto de pontos ou *stop skipping***: consiste em não parar em determinados pontos, de preferência pontos com baixa demanda, para adiantar o ônibus quando este estiver atrasado em relação ao plano de horários. Reduz o tempo de viagem dos passageiros e o tempo de espera dos viajantes nos pontos. Como viés, aumenta o tempo de espera dos viajantes nos pontos não atendidos e o tempo de viagem dos passageiros que tiverem que desembarcar em um ponto que não seja necessariamente o desejado.
- **Retorno antecipado ou *short turning***: consiste em forçar o retorno do ônibus antes de completar o itinerário. Diminui a variação no espaçamento entre os ônibus e o tempo de espera dos viajantes nos pontos no sentido oposto ao sentido inicial da rota. Entretanto, há um aumento no tempo de viagem dos passageiros que desembarcaram do ônibus quando há mudança de sentido na rota, pois precisarão complementar sua viagem, caminhando ou com outro modo. Esta medida pressupõe que o sistema seja integrado temporalmente¹².
- **Sempre avante ou *dead heading***: despacha-se um veículo vazio sem prestar atendimentos até o ponto de parada crítico. Permite corrigir a não uniformidade no espaçamento entre os ônibus e reduzir o tempo de espera dos passageiros no ponto especificado e a jusante deste. Pode ser aplicado em situações de alta concentração de demanda em períodos específicos, como grandes eventos.
- **Expresso ou semi-expresso**: semelhante à estratégia salto de ponto, onde vários pontos seguidos não são atendidos, com a diferença de que o passageiro tem prévio conhecimento do itinerário. A implantação dessa estratégia pressupõe a disponibilidade de ultrapassagem dos veículos paradores nas estações.

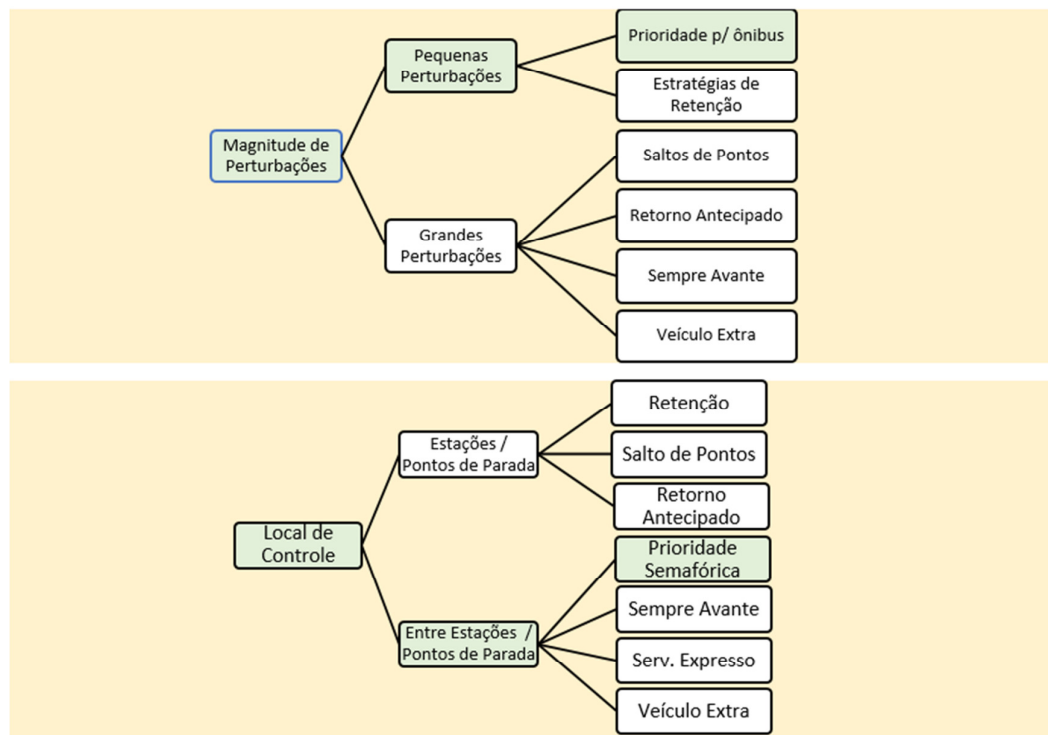
¹² Integração temporal: Este tipo de integração permite ao usuário, durante determinado intervalo de tempo, a possibilidade de fazer viagens, mesmo trocando de modo, sem a necessidade de pagar uma nova tarifa.

- **Ônibus reserva ou extra:** utilizado quando há uma interrupção inesperada no serviço como, por exemplo, quebra de algum ônibus. Tem por objetivo suprir uma demanda específica, como viajantes esperando num ponto não atendido e prevenir irregularidades no espaçamento entre ônibus. Entretanto, impõe custos adicionais para o operador do transporte público coletivo. Em São Paulo, o PAESE - Plano de Ação entre Empresas em Situação de Emergência, disponibiliza ônibus extra sempre que ocorrem intercorrências nos sistemas sobre trilhos e que obrigam a suspensão temporária dos serviços. A demanda do modo trilhos é, portanto, assistida pelo sistema sobre pneus.

- **Prioridade para ônibus nas interseções sinalizadas:** implica no controle da temporização semafórica das interseções para favorecer a passagem e evitar a parada dos ônibus, o que reduz o atraso destes ônibus e dos passageiros embarcados. As estratégias de prioridade semafórica, que são objeto de estudo desta pesquisa, serão apresentadas em um item específico deste capítulo.

As estratégias acima apresentadas estão organizadas na figura a seguir conforme a magnitude das perturbações e locais onde os controles são executados.

Figura 2-7 - Classificação das principais estratégias de controle em tempo real para sistemas de transporte público coletivo



Fonte: (KOEHLER, 2009)

Os sistemas de priorização semafórica para o transporte coletivo são tratados no item 2.2.2 a seguir.

2.2 Sistemas inteligentes de transportes - ITS

2.2.1 Arquitetura e definições

Os sistemas de inteligentes de transporte (ITS) buscam aumentar a capacidade dos sistemas de transporte, melhorar a segurança dos deslocamentos e reduzir os impactos negativos das operações de transporte no meio ambiente. Esses objetivos são conseguidos mediante a integração e a interoperabilidade dos sistemas componentes e o fornecimento de uma estrutura de planejamento, em volta da qual é possível desenvolver uma coordenação permanente entre os atores do sistema de transporte.

Os Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) abrangem uma ampla gama de tecnologias de comunicação e controle que, sendo estas integradas na infraestrutura do sistema de transporte, ajudam no monitoramento e gerenciamento do trânsito, na redução dos congestionamentos, na provisão de rotas alternativas aos usuários, melhoramento da produtividade e ao final, gerar economias de vidas, tempo e dinheiro para a sociedade (ALBORNOZ, 2005).

A inteligência nos transportes está relacionada com a implementação de dois tipos de sistemas: os baseados em tecnologias e aqueles baseados nas aplicações das tecnologias. No cenário urbano os mais conhecidos são os sistemas centralizados de controle de tráfego, enquanto que no cenário interurbano, os mais utilizados são os sistemas de pedágio e os painéis de mensagens variáveis. Nessa dissertação são abordadas apenas as aplicações de tecnologias ITS no transporte urbano, mais especificamente, no transporte público coletivo, no qual se difunde cada vez mais o uso do pagamento eletrônico, sistemas de monitoramento e controle de tráfego.

De acordo com APTA (2010) são necessários três componentes para que as funcionalidades ITS possam ser aplicadas num sistema de transporte tipo BRT: o veículo, o usuário¹³ e o operador¹⁴. A figura a seguir apresenta a integração entre as funcionalidades de ITS.

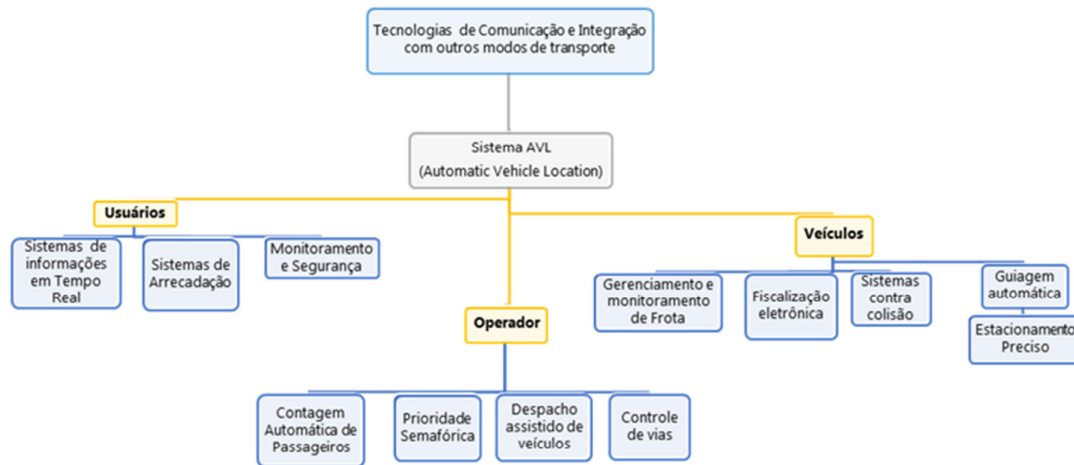
¹³ **Usuário:** Este ator representa todas as entidades humanas que se utilizam, direta ou indiretamente, dos serviços do Sistema de Transportes. Conforme o momento e a situação, este ator pode ser Pedestre, Viajante, Passageiro, Condutor, empresas clientes de crédito tarifários ou qualquer outro que se beneficie dos serviços oferecidos (ABNT, 2012).

¹⁴ **Operador:** Responsável pela operação de frotas de transporte público. Está condicionado:

- às regras definidas pelo Gestor
- à programação dos serviços de transporte público
- às orientações do Controlador Operacional, responsável pelo Centro de Controle Operacional (CCO)

(ABNT, 2012).

Figura 2-8 - Integração entre as funcionalidades ITS



Fonte: Adaptado de APTA (2010)

A arquitetura acima representada pode ser definida como sendo a organização fundamental de um sistema representado pelos seus componentes, pelas relações entre cada um deles com o ambiente e pelos princípios que orientam seu projeto e evolução. Inclui a descrição do que cada componente faz, a informação que é trocada entre eles e como eles trabalham juntos para atingir as metas do sistema (ALBORNOZ, 2005).

Dentre as funcionalidades ITS relacionadas ao operador de frotas serão explorados a seguir os conceitos relacionados à Prioridade Semafórica, visando definir seus componentes, relações e princípios.

2.2.2 Sistemas de priorização semafórica

Os congestionamentos e sinalizações usualmente presentes no tráfego causam desvios e perturbações sobre o serviço de transporte público coletivo. Ainda, ações visando ajustes ao plano de horários (definidos pelo planejamento) ou espaçamento entre ônibus são prejudicadas devido à dificuldade em acelerar os ônibus em situações de congestionamento ou mesmo em vias compartilhadas com outros veículos. Estas perturbações causam atrasos significativos e aumento nos custos

operacionais do transporte público coletivo. Nestes casos, uma solução a ser considerada é a utilização de uma estratégia de prioridade para os ônibus nas interseções sinalizadas (DALE, BAUER e WON, 2009).

A prioridade para ônibus é uma estratégia operacional que facilita o movimento destes através do controle semaforico das interseções, reduzindo os atrasos e o tempo de viagem. Podem-se citar ainda como benefícios: melhora no cumprimento do plano de horários e ou espaçamento *headway*, redução do número de paradas dos ônibus (diminuindo desgaste e quebra do equipamento), aumento do conforto para o condutor (motorista) e passageiros e redução da emissão de poluentes, etc.

Entretanto, se não bem projetada, a prioridade pode causar impactos negativos no restante do tráfego, tais como aumento no atraso dos veículos, pedestres e até um aumento dos tempos de viagem dos ônibus não priorizados, conforme Heydecker (1983) *apud* Koehler (2009). Este conceito de prioridade semaforica não é atual. A primeira experiência com priorização semaforica foi realizada em Washington, D.C., em 1962, na qual as defasagens dos semáforos numa rede arterial foram ajustadas para aumentar as baixas velocidades dos ônibus - relatam Al-Sahili e Taylor (1996) *apud* Neto (2004).

Cidades como Los Angeles, Portland, Vancouver e Zurich implantaram recentemente o TSP como medida para melhorar o desempenho do transporte coletivo, em particular, o ônibus. Nessas cidades foram obtidas significativas reduções dos tempos de viagem dos ônibus e aumento da regularidade do sistema sem causar impactos consideráveis nas condições de tráfego do sistema não priorizado, (KIM, PARK e CHON, 2011).

2.2.2.1 Controles semaforicos

A principal função do semáforo é restringir o fluxo contínuo do tráfego veicular, permitindo o direito preferencial de passagem nas interseções com movimentos conflitantes, tendo como vantagem, na maioria das vezes, o fato de requerer menores investimentos de capital se comparado às intervenções físicas no sistema

viário. Os principais tipos de controle semafórico do tráfego são designados para operar em interseções isoladas, em corredores ou em áreas de uma rede viária.

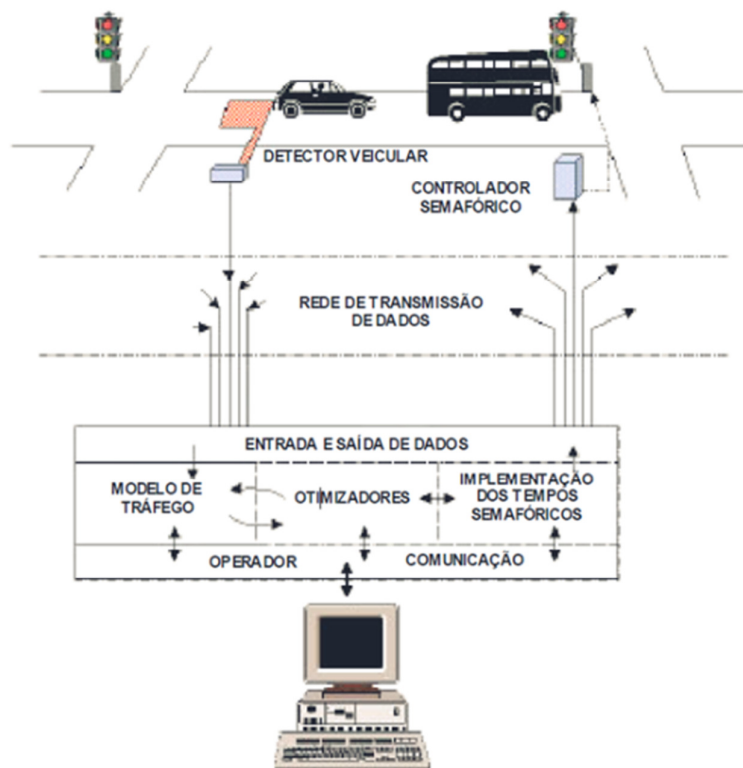
De acordo com Cunto e Loureiro (2011), existem três tipos de controle de sistemas semafóricos: isolado, coordenado e centralizado.

- a. **Controle Isolado:** semáforos atuam independentemente dos demais, ou seja, não ocorre nenhum tipo de coordenação ou sincronismo semafórico.
- b. **Controle coordenado:** tem a finalidade de coordenar o tráfego através de alguns parâmetros, tais como: ciclo, tempo de verde de cada aproximação e, principalmente, defasagem. Uma coordenação em uma via arterial é comumente chamada de onda verde ou banda de passagem, isto é, uma porção do ciclo na qual um pelotão de veículos, movimentando-se a uma velocidade constante, pode cruzar um conjunto de interseções sem ser parado.
- c. **Controle Centralizado:** estratégia de controle na qual a região a ser controlada é subdividida em subáreas, com suas interseções operadas por controladores de campo, que se comunicam com um computador denominado de computador de zona, responsável por gerenciar os controladores de uma determinada área. Estes computadores de zona, por sua vez, se comunicam com um computador central, que realiza o controle e direciona as ações para os controladores locais. A estratégia de controle centralizado dos semáforos pode operar da seguinte forma: tempo fixo (tabela horária), seleção dinâmica ou tempo real (adaptativo).
 - i. Tempo fixo: na operação centralizada em tempo fixo, ou *off-line*, o computador central armazena e programa os planos semafóricos previamente calculados, com dados que refletem condições padrões esperadas do tráfego. Nesta operação, o momento da entrada de cada plano de tráfego, previamente calculado, ocorre por intermédio de uma tabela horária, ou seja, num determinado instante do dia, um determinado plano entra em operação, de forma automática, conforme programado no computador central.
 - ii. Seleção Dinâmica: existe uma série de planos semafóricos armazenados no computador central, correspondentes a diversos

fluxos veiculares. Caso, em determinada área ou interseção, o volume em suas aproximações aumente ou diminua, o computador selecionará o plano previamente estabelecido para aquele respectivo volume. É indispensável a instalação de detectores (laços indutivos), Câmeras de Circuito Fechado de TV (CFTV) ou outra tecnologia (como por exemplo Infravermelho) nas vias, que permitam a detecção para a contagem do fluxo.

- iii. Tempo Real (adaptativo): os sistemas de controle adaptativo, ou *on-line*, também conhecidos como sistemas de controle em tempo real, determinam os parâmetros de controle semafórico (ciclo, tempos de verde e defasagens) dinamicamente, conforme a demanda veicular capturada por detectores em campo. Assim, estes parâmetros são continuamente adaptados em tempo real (frequentes ajustes), para atender às condições reais do tráfego. O ciclo e os tempos de verde são ajustados para manter um aceitável grau de saturação nas aproximações das interseções, enquanto as defasagens são ajustadas para minimizar os atrasos e/ou paradas dos veículos. Para manter a coordenação ao longo do tempo, grupos de interseções adjacentes são predefinidos para operar num mesmo ciclo. As condições do tráfego são continuamente monitoradas com base na detecção veicular e na informação de mudança nos tempos dos semáforos pelos controladores. Os modelos de otimização são normalmente implementados junto com um computador central numa arquitetura de comunicação, na qual a troca de dados é realizada entre equipamentos nas interseções em campo e o computador central, podendo ou não haver intervenção de operadores de tráfego. A ilustração a seguir apresenta a arquitetura em um sistema centralizado em tempo real.

Figura 2-9 - Arquitetura em um sistema centralizado em tempo real



Fonte: (KOEHLER, 2009)

2.2.2.2 Estratégias de prioridade

Pesquisas sobre prioridade semafórica, especialmente experimentos de novas estratégias de priorização, vêm sendo estudadas ao longo dos últimos trinta anos. Países como Estados Unidos, Canadá, Japão e alguns países da Europa, como a Suécia, Portugal, Reino Unido e Itália têm incorporado projetos de priorização para o transporte público coletivo em seus principais centros urbanos e adotaram a prioridade semafórica como medida para contribuir com a melhoria do desempenho de seus sistemas (XU, SUN e ZHENG, 2010).

Deshpande (2003) apresenta uma revisão sobre os projetos implantados nos países onde o desenvolvimento tecnológico é mais avançado. Nestes países os projetos de prioridade semafórica envolvem, entre outros, o sistema regular sobre pneus, sistemas de veículos leves sobre trilhos (VLT), além de serviços expressos e semi-

expressas de ônibus em corredores segregados. Em geral, as estratégias adotadas nesses sistemas podem ser classificadas em duas categorias principais: Prioridade Passiva, Prioridade Ativa ou Adaptativa (Incondicional e Condicional). A seguir será apresentada cada uma das três estratégias de prioridade semafórica citadas.

2.2.2.3 Prioridade passiva

Esta estratégia consiste em ajustar a programação semafórica manualmente, ou com o auxílio de programas computacionais como o TRANSYT¹⁵, VISSIM¹⁶, AIMSUN¹⁷ que permitem simular a coordenação dos semáforos de forma isolada ou contínua. Os semáforos em corredores arteriais podem operar coordenados para permitir a progressão dos movimentos de tráfego. Muitos sistemas operam com programação semafórica de tempo fixo, com base em dados históricos de fluxos veiculares. Neste tipo de operação, a prioridade para o transporte público coletivo pode ser dada por meio de configurações nos tempos semafóricos (ciclo, tempos de verde e defasagem) de forma que os favoreçam. A defasagem entre os semáforos pode ser ajustada em função da velocidade dos ônibus e dos tempos médios de embarque/desembarque nos pontos de parada (DESHPANDE, 2003).

A seguir, são apresentadas as principais estratégias de prioridade passiva (ITS AMERICA, 2005):

- Ajuste no tempo do ciclo: em interseções isoladas, a sequência verde - amarelo- vermelho é reduzida para diminuir os atrasos dos veículos do transporte público coletivo; resultando, porém, na redução da capacidade das interseções;
- Divisão dos estágios: consiste em dividir o estágio que dá direito de passagem aos ônibus nas interseções isoladas em dois ou mais estágios dentro do ciclo, reduzindo o atraso destes veículos sem necessariamente

15 <http://www.trl.co.uk/Transyt.htm>

16 <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/>

17 <http://www.aimsun.com/wp/>

reduzir o ciclo. Contudo, a capacidade é também reduzida devido aos tempos adicionais de entreverdes no final de cada estágio priorizado.

Uma segunda forma de ajustar os tempos semaforicos com prioridade para os veículos do transporte público coletivo é programar a coordenação dos semáforos no corredor maximizando a banda de passagem dos ônibus (conhecida como onda verde).

Segundo Gardner et al. (2009), embora a estratégia passiva não requeira modificações na infraestrutura, os benefícios obtidos são modestos e por isso não são amplamente implantados.

A prioridade passiva é mais indicada para corredores onde os tempos de embarque/desembarque não variam muito (NETO, 2004).

2.2.2.4 Prioridade Ativa (ou Adaptativa)

A prioridade ativa envolve a detecção da presença dos veículos nas proximidades das interseções e depende da lógica do sistema e das condições do tráfego. O sistema deve ser capaz de detectar a presença de um coletivo e prever o instante da sua chegada à interseção. Para tanto, os ônibus devem ser equipados com dispositivos de identificação veicular como *transponders*, GPS ou dispositivos similares.

Para Li et al. (2010), este tipo de estratégia é a mais difundida nos Estados Unidos e demonstrou impactos positivos quanto à qualidade dos serviços prestados. As principais estratégias de priorização ativa são apresentadas a seguir:

- extensão do verde: extensão do verde no final do estágio de passagem do veículo detectado;
- antecipação do verde: um tempo de verde adicional é alocado no início do estágio de passagem do veículo detectado, antecipando o início do verde;
- interrupção do vermelho (*Red Truncation*): um curto período de verde é inserido durante o vermelho da aproximação do veículo detectado, enquanto os veículos da via conflitante são forçados a parar;

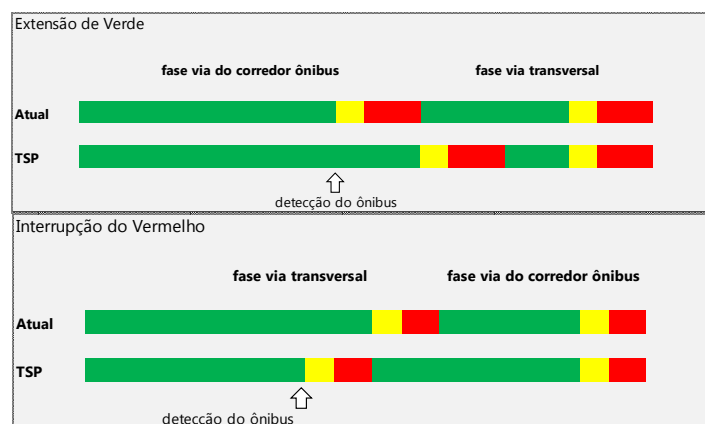
- supressão de estágios: um ou mais estágios de movimentos de baixa demanda podem ser suprimidos em um determinado ciclo, para priorizar determinado movimento ou veículo do transporte público coletivo;
- interrupção do verde: se o ônibus é detectado distante da interseção, interromper o período de verde de passagem do veículo detectado aumenta a probabilidade deste veículo chegar à interseção no próximo período de verde.

As medidas de prioridade ativa (adaptativa) também podem ser classificadas dentro de duas principais categorias: prioridade incondicional e condicional.

Na segunda, a prioridade é garantida se condições predefinidas são satisfeitas, devendo-se estabelecer limites sobre variáveis controladas. Os critérios podem ser: o grau de saturação nas aproximações que não se beneficiam da prioridade; a pontualidade ou aderência à programação dos ônibus; a quantidade de passageiros dentro dos veículos; o tempo decorrido desde a última detecção; o tamanho da fila nas aproximações não priorizadas.

A prioridade condicional é usada em redes de semáforos próximos entre si, onde as interseções operam dependentes uma das outras. Portanto, o benefício da rede como um todo deve ser avaliado antes de dar prioridade numa única interseção. Na Figura 2.10 são apresentadas as duas principais estratégias aplicadas na prioridade ativa.

Figura 2-10 - Principais estratégias de prioridade ativa



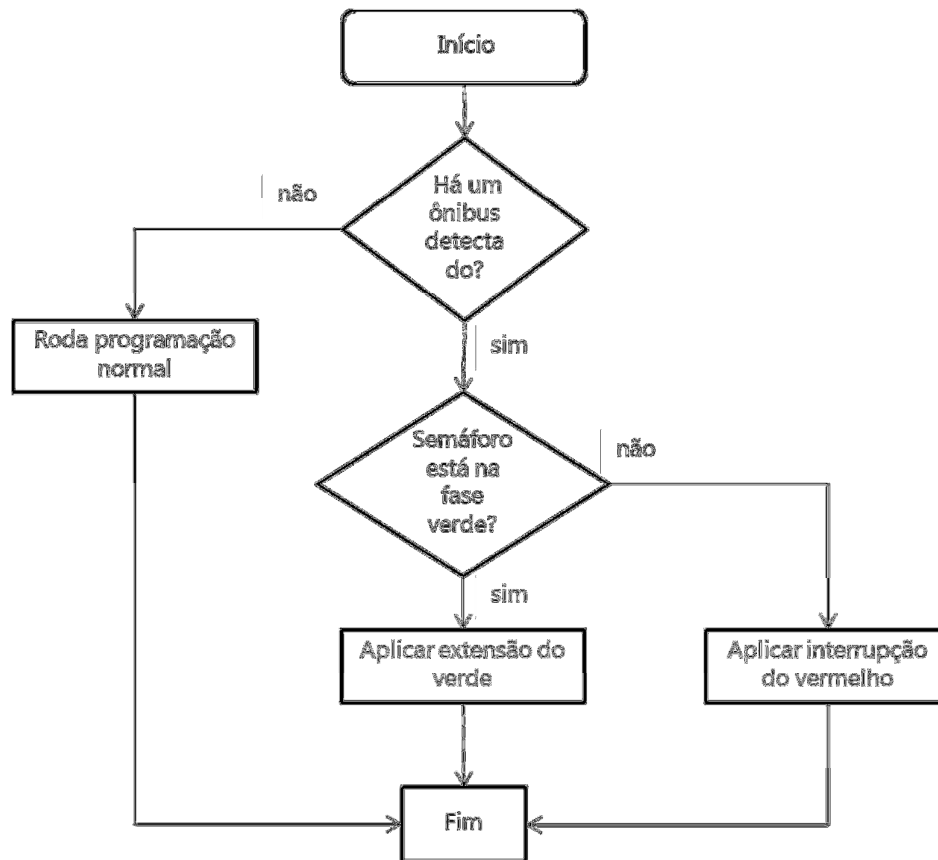
Fonte: Adaptado de ALEMÁN (2013).

2.2.2.5 Prioridade Incondicional (absoluta)

Em um sistema de prioridade incondicional, a requisição de prioridade é feita cada vez que um ônibus detectado se aproxima de uma interseção semaforizada. O pedido de prioridade é emitido independentemente de quaisquer condições existentes (como atraso ou lotação). Embora a prioridade incondicional seja simples de ser implementada, existem algumas desvantagens.

Segundo Ekeila, Sayed e Esawey (2009), o algoritmo clássico de prioridade incondicional consiste de dois sistemas: detecção e decisão TSP. O sistema de detecção usa um detector de *check-in* instalado entre 100 e 50 metros da interseção e outro detector de *check-out* instalado imediatamente após a interseção. No *check-in* o veículo detectado (ônibus) emite uma requisição de prioridade de passagem para um controlador semafórico, que verifica o estágio atual do semáforo e implanta as estratégias de prioridade para a passagem deste. O detector de *check-out* comunica o controlador semafórico sobre a passagem do ônibus que retorna aos planos não prioritários. A figura a seguir representa a lógica para o algoritmo clássico do TSP.

Figura 2-11 - Representação da prioridade semafórica Incondicional (absoluta)



Fonte: EKEILA, SAYED, ESAWEY (2009)

A aplicação da prioridade semafórica incondicional traz consigo alguns riscos associados, conforme descreve o USDOT e FTA (2008). O primeiro deles é o fato de a prioridade ser requisitada por um veículo que não necessite dela, ou seja, por um veículo que está aderente à sua programação horária. Se priorizado, poderá antecipar-se no restante do percurso, gerando conflitos com a programação e eventualmente ocasionando o fenômeno de *bunching*, ou seja, formação de filas. De acordo com Muñoz, Giesen e Delgado (2012), esse fenômeno, quando não controlado pode causar graves problemas operacionais, tais como: redução da regularidade, aumento do tempo de espera por ônibus lotados, aumento dos tempos de ciclo e do risco de acidentes. A Figura 2-12 ilustra a formação de filas no corredor Transantiago no Chile, para o qual foi proposto um modelo de controle operacional para evitar a formação de filas.

Figura 2-12 - *Bunching* no corredor Transantiago - Chile



Fonte: ALC - BRT ACROSS LATITUDES AND CULTURES (2012)

Outro risco associado é quando o controlador semafórico recebe uma requisição de um veículo que está retornando à garagem, portanto, fora de operação. Essa situação ocasionaria problemas para o tráfego geral não priorizado e para os demais ônibus que estariam circulando no sentido oposto deste priorizado.

A recomendação é que, nestas ocasiões, o veículo não circule pela via prioritária.

Embora não citada pelo USDOT e FTA (2008), a implantação de uma estratégia incondicional num corredor de ônibus que opera com alta frequência de veículos poderia causar transtornos significativos ao tráfego geral e aos pedestres.

Neto (2004) descreve que a variabilidade dos tempos de embarque/desembarque dos ônibus gera incertezas nas previsões de chegada destes nas interseções e na requerida mudança nos tempos semafóricos. Devido a estas limitações, muitas agências de transporte consideram que os impactos negativos de interromper a progressão e acrescentar atraso para as aproximações não priorizadas superam os benefícios da prioridade para os veículos do transporte público coletivo, e hesitam em implementar a prioridade em suas jurisdições.

2.2.2.6 Prioridade Condicional

Os critérios da prioridade condicional buscam evitar impactos negativos para a corrente do tráfego não priorizado e podem maximizar os benefícios do TSP, conforme afirmam Furth e Muller, (2002).

Os procedimentos sugeridos pelo USDOT e FTA (2008) incluem:

- a) inibir ou limitar a frequência de prioridade para os ônibus; e
- b) alocar mais tempo de verde para os movimentos de tráfego não priorizados após a ativação da prioridade, o que é conhecido como compensação. A inibição da prioridade pode não ser necessária quando é garantida apenas para os veículos que estão atrasados em relação à sua programação. A compensação pode não operar satisfatoriamente em sistemas coordenados quando o estágio a ser priorizado é o mesmo que dá direito de passagem aos veículos no corredor principal, acarretando em acréscimos de atrasos e fila para estes veículos.

A integração da prioridade ao controle em tempo real e a sistemas de informação e identificação/localização automática de veículos (AVI/AVL - *Automatic Vehicle Identification / Automatic Vehicle Location*) possibilita propor um sistema de prioridade “inteligente”, no qual a prioridade é aplicada conforme algumas premissas:

- o sistema de monitoramento deve ter condições de prever a aproximação do ônibus em cada interseção;
- deve ser alocada a prioridade, mas sem modificar significativamente a progressão normal e duração dos estágios;
- deve ser alocada prioridade somente para aqueles ônibus que realmente necessitam de prioridade com base num critério predefinido, que pode ser a aderência à programação horária e/ou a ocupação de passageiros do veículo;
- deve ser alocada prioridade, mas somente quando existir capacidade reserva na interseção. Isto pode ser feito colocando limites de saturação no controle em tempo real, definindo até que ponto a prioridade pode ser dada.

Um sistema adequado pode consistir num esquema de prioridade ativa condicional com as características citadas acima. Segundo Furth e Muller (2002), neste tipo de esquema, as interrupções - devido à prioridade num corredor - podem ser reduzidas variando os limites em que o atraso do ônibus pode ter em relação à sua programação horária. Em nós críticos estes limites podem assumir valores maiores, enquanto que em interseções com reserva de capacidade estes limites poderão ser menores. Isto faz com que os ônibus sejam priorizados em nós com reserva de capacidade e passem pelos pontos críticos sem receberem prioridade.

Outro aspecto importante que deve ser considerado na implementação da prioridade condicional, segundo Furth e Muller (2002), é verificar se o sistema atual apresenta ou não folga em relação à programação estabelecida. Num sistema com programação muito justa, os veículos tendem a estar sempre atrasados e o sistema irá operar com prioridade quase incondicional. Por outro lado, num sistema com flexibilidade na programação, os veículos tendem a estar sempre adiantados, fazendo com que o sistema não necessite de uma estratégia de prioridade. Na Figura 2-13 é representado simplificadaamente um esquema de prioridade condicional no qual a detecção do veículo é feita pelo sistema de monitoramento e posicionamento global e a requisição de prioridade baseada na programação horária que é analisada pelo Centro de Controle Operacional (CCO).

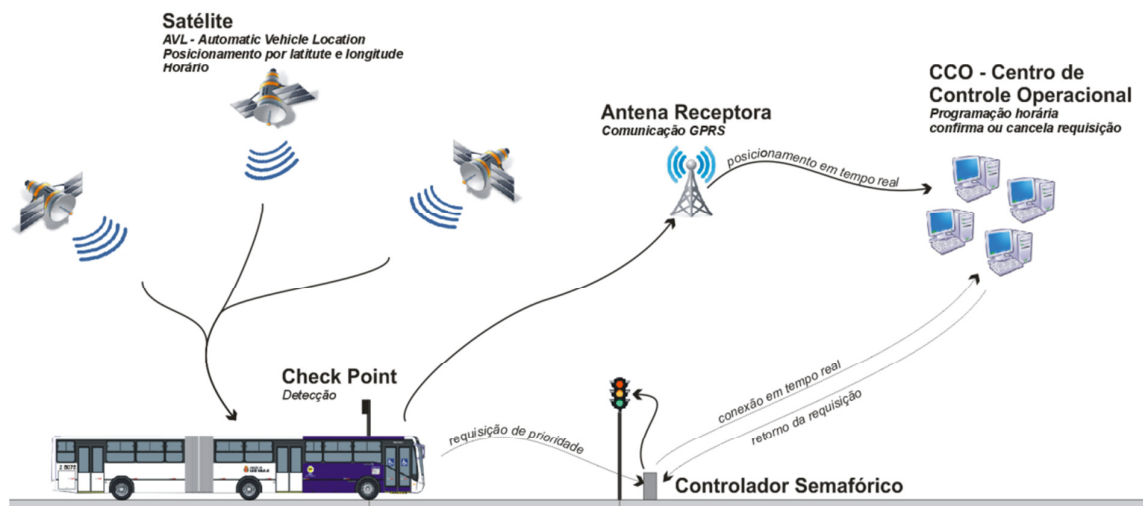
Segundo o ITS America (2005) o algoritmo de prioridade semafórica condicional é composto por dois sistemas complementares: Detecção e Requisição.

Existem várias tecnologias para detecção veicular: laços indutivos, detectores óticos, GPS, entre outras. Na detecção representada na a seguir, o veículo emite o sinal ao controlador semafórico com a requisição de prioridade de passagem. Cabe ao Centro de Controle Operacional confrontar o posicionamento do veículo, obtido pelo SIM com a programação horária estabelecida pelo planejamento e, caso esteja atrasado em relação ao programado, o CCO deve retornar ao Controlador semafórico o aceite da requisição de prioridade.

O controlador semafórico, após receber a confirmação de prioridade para o veículo detectado, deve analisar o estágio atual do semáforo e implantar a melhor estratégia

para a situação corrente: extensão do verde ou interrupção do vermelho ou outra estratégia que tenha sido previamente programada no controlador. O final da prioridade ocorrerá quando o veículo for detectado novamente após ter passado a interseção priorizada. A ilustração a seguir representa de forma resumida um exemplo de funcionamento da prioridade semafórica condicional.

Figura 2-13 - Representação simplificada da prioridade semafórica condicional



Fonte: Adaptado de ITS AMERICA (2005)

Cabe destacar que na maioria das cidades brasileiras, inclusive em São Paulo, os sistemas de gestão do trânsito e transporte público coletivo não são integrados. Nestas situações, a responsabilidade pela coordenação dos semáforos e do monitoramento dos ônibus não estão sob o mesmo domínio, o que pode acarretar problemas no gerenciamento das vias e do transporte público coletivo. A gestão centralizada, sob uma única agência interligada aos serviços de emergência e de segurança, pode resultar num modelo mais eficiente de gestão da mobilidade.

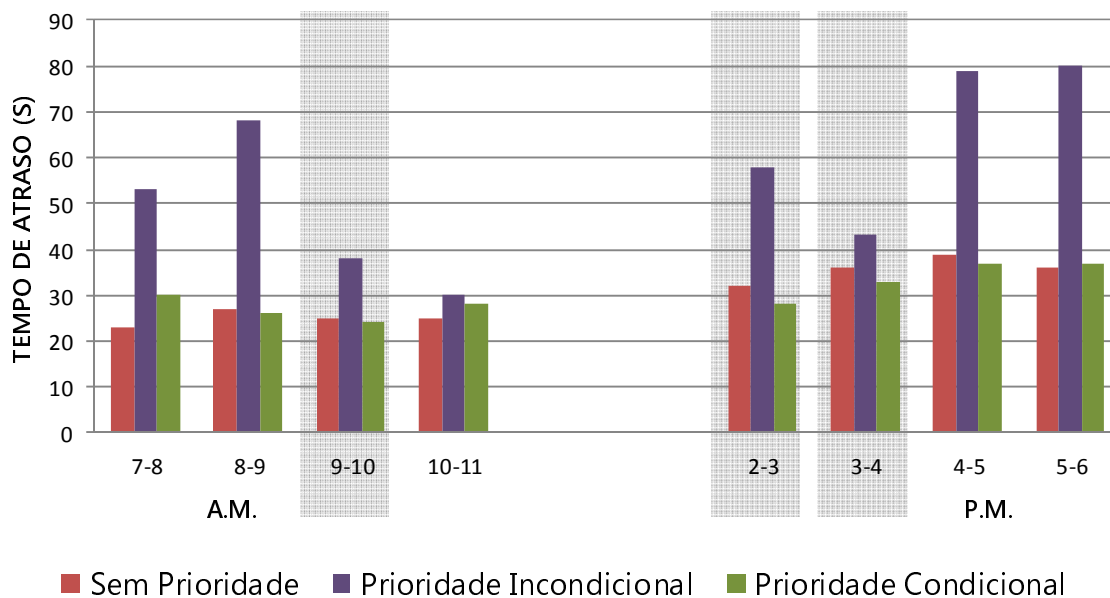
2.2.2.7 Medidas de desempenho da prioridade para o ônibus

Geralmente são usados como critérios de avaliação: o tempo de viagem por ônibus, o tempo de viagem por automóvel, o atraso e o número de paradas em interseção por ônibus e por automóvel, o tempo de viagem por pessoa, o atraso em interseção por pessoa, e o tamanho da fila. A regularidade na programação dos ônibus é

avaliada em função da variabilidade no seu tempo de viagem, pois embora possa não existir diferença no tempo total de viagem dos ônibus, é possível ocorrer redução no desvio padrão do tempo de viagem, conforme Neto (2004).

Furth e Muller (2002) analisaram os atrasos em sistemas não priorizados, priorizados incondicionalmente e condicionalmente. Os resultados revelaram que o tráfego não priorizado teve aumento de atrasos de aproximadamente 40 segundos por veículo em três faixas horárias, nas quais o ônibus teve prioridade absoluta. É também possível observar que, com a prioridade condicional os atrasos dos veículos foram menores que na situação não priorizada em três situações conforme o gráfico a seguir.

Gráfico 2.1 - Média dos atrasos veiculares (não priorizados) sob as três estratégias de prioridade

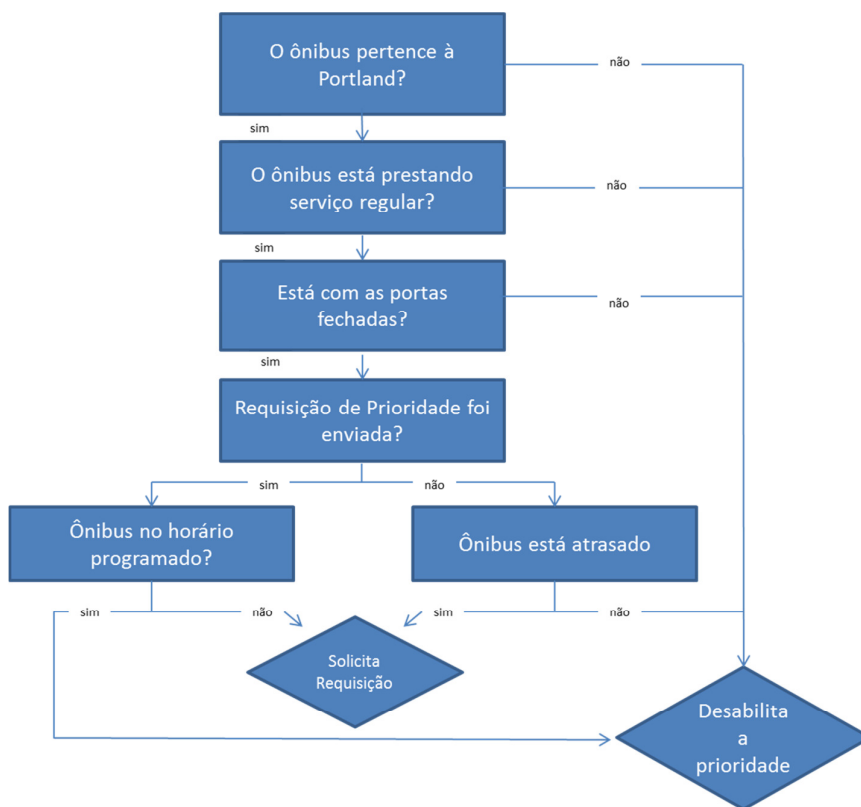


Fonte: FURTH E MULLER (2002)

Segundo Gardner et al. (2009), em uma ação conjunta entre estado, agências da municipalidade e região metropolitana de Portland, nos Estados Unidos, foram implantados TSP em oito corredores, com mais de 250 interseções e aproximadamente 650 veículos, visando reduzir os custos operacionais e aumentar a confiabilidade do transporte público coletivo. Neste sistema, o TSP condicional foi aplicado para ônibus de acordo com as seguintes condicionantes: os veículos

precisariam estar com as portas fechadas, durante período de operação regular, com no mínimo 30 segundos de atraso e pertencer ao sistema de transporte público coletivo de Portland. Sob essas condições, o controlador semafórico poderia estender o ciclo de verde entre 7 e 10 segundos. É importante destacar, que mesmo com o envolvimento de duas agencias de transporte, a arquitetura aplicada é relativamente simples, sem a necessidade de uma central de controle, que reduz sensivelmente o custo de implantação do sistema. A lógica implementada é mostrada na figura a seguir.

Figura 2-14 - Lógica do TSP condicional em Portland, EUA

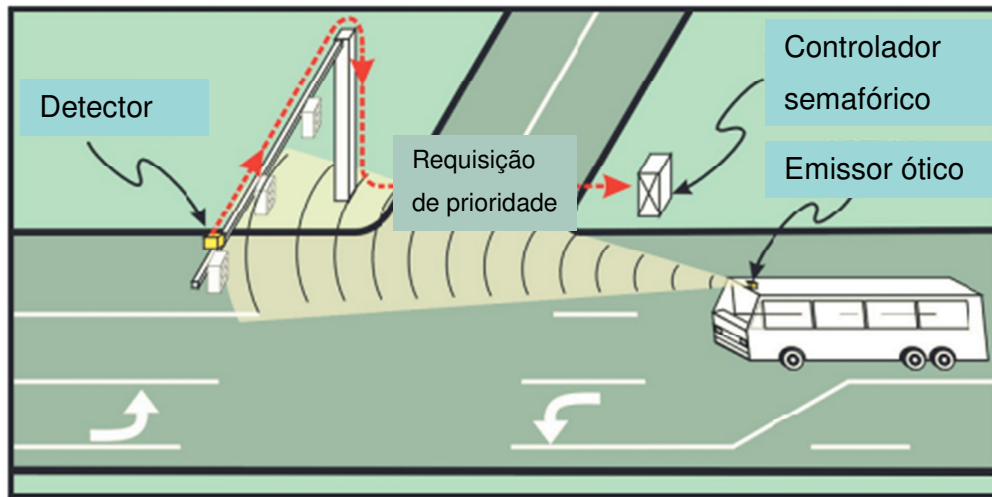


Fonte: (KOONCE, 2009)

Essa experiência no sistema de transporte público coletivo de Portland mostrou que os objetivos foram alcançados e os impactos nos modos não priorizados foram insignificantes. Em apenas um dos corredores, o Portland Highway Valley, foi registrado 14% de redução dos tempos de viagem, redução dos atrasos entre 2 e 13

segundos por interseção e redução da variabilidade dos tempos de viagem em até 8%. A arquitetura implantada neste caso está mostrada na figura a seguir.

Figura 2-15 - Arquitetura do TSP em Portland, EUA



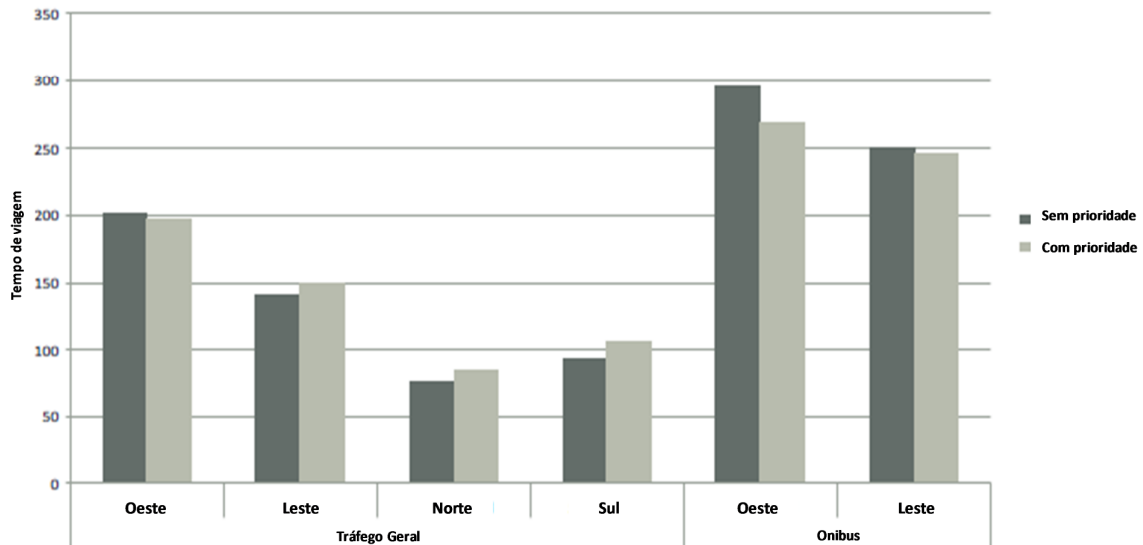
Fonte: Adaptado de Gardner *et al.* (2009)

Segundo Wahlstedt (2011), o *Swedish for Prioritizing of Buses in Coordinates Signal Systems* – (PRIBUSS) foi um programa que desenvolveu ferramentas específicas de engenharia de tráfego para otimizar as questões relacionadas a eficiência do sistema. Dentre essas ferramentas foi elaborado um projeto de TSP condicional para Estocolmo que utilizou a microssimulação no VISSIM para avaliar os resultados. O estudo apontou que a prioridade ativa proporcionou ganhos consideráveis para o transporte público coletivo, com reduções dos tempos de viagem de até 9%.

Um fato importante esperado é que os automóveis poderiam se beneficiar da prioridade dos ônibus, desde que circulassem na mesma via, onde há prioridade. No entanto, isso não ocorreu como se esperava, devido ao fato da programação semafórica ser ajustada em função da velocidade dos ônibus, que inclui os tempos de parada nas estações. Ou seja, os automóveis desempenham progressões diferentes dos ônibus, por isso não se beneficiam do TSP. Um gráfico comparativo entre as situações com e sem prioridade é apresentado no gráfico a seguir, onde é possível notar que, com exceção à primeira coluna “oeste”, em todas as outras a prioridade dada ao ônibus refletiu em aumento dos tempos de viagem dos autos. As

duas últimas colunas referem-se especificamente aos ônibus, cuja redução dos tempos de viagem é inquestionável.

Gráfico 2.2 - Arquitetura do TSP em Portland, EUA



Fonte: (WAHLSTEDT, 2011)

Para Gardner et al. (2009), os resultados obtidos com a prioridade semaforica devem ser vistos com cautela, uma vez que não há um sistema igual ao outro, e portanto, os resultados devem variar de acordo com:

- Características Operacionais (volumes, frequências, tipo de veículos);
- Área de cobertura (quantidade de interseções);
- Condições de tráfego (segregações e aspectos de geometria das vias);
- Tecnologias empregadas (detecção e estratégias).

E, apesar das particularidades, o TSP geralmente resulta em:

- Aumento da velocidade média dos ônibus;
- Redução dos tempos de viagem;
- TSP condicional: Maior aderência à grade horária;
- Impactos para o tráfego não priorizado.

2.2.2.8 Métodos de Avaliação

A experiência (testes na Europa e na América do Norte) mostra que existe uma incerteza sobre os reais impactos e benefícios da combinação da prioridade semaforica com uma particular condição do tráfego (Neto, 2004).

O primeiro passo para decisão de implementação de qualquer estratégia de prioridade é a pesquisa de experiências em outras localidades. Deve-se conhecer as principais estratégias de priorização semaforica testadas e os métodos de avaliação empregados. Vale ressaltar que, devido a diferenças de comportamento, de configuração do espaço geográfico e de condições do tráfego entre as cidades, os resultados observados numa cidade não podem ser transferidos imediatamente para a área que se deseja analisar numa outra cidade. Portanto, estudos de simulação computacional e/ou testes em campo são necessários.

As simulações computacionais carecem do realismo dos testes em campo, mas são mais flexíveis e de menor custo. O realismo e a precisão nas simulações computacionais podem ser melhorados com um conjunto de dados representativo da área de estudo e com o uso de modelos que representem a realidade com uma boa precisão.

A avaliação das estratégias de prioridade envolve a comparação de cenários de controle, com base em critérios de avaliação. A maior parte dos estudos propõe modelos de microssimulação para avaliar as estratégias de prioridade. Dentre os benefícios e as limitações da simulação computacional destacam-se as seguintes (FELLENDORF e VORTISCH, 2010):

- Custos reduzidos - permitem análise de sensibilidade do tipo: “O que ocorre se?” e evita a coleta de dados em campo quando o sistema é modificado;
- Menores riscos - pois evita que observações tenham que ser repetidas devido a incidentes na via de estudo, ou em vias adjacentes, atrasos de pesquisadores, atraso no projeto com o uso de um grupo menor de pesquisadores;

- Melhoram a comunicação com o uso de animações - provavelmente o aspecto mais positivo dos modelos de simulação é a sua habilidade para ilustrar graficamente as condições do tráfego por meio de simulações.

Embora algumas medidas de controle possam ser incorporadas em estudos de campo, alguns fatores externos podem influenciar os resultados, levando a conclusões erradas. Estes fatores podem incluir: mudanças no volume de tráfego, modificações nos tempos semaforicos não comunicados ao grupo de estudo, alteração na programação horária dos ônibus, ou erro humano. A simulação elimina esta influência externa, por permitir que seja alterado apenas o fator que se deseja avaliar, no caso - as estratégias de prioridade.

A simulação computacional também apresenta algumas limitações em relação a pesquisas em campo:

- Podem não representar fielmente a realidade. A tolerância aceitável nos modelos de simulação é $\pm 10\%$ das condições atuais de tráfego (volumes e tempos de viagem);
- As estimativas podem não ser confiáveis. Se não existe confiança no modelo pelos técnicos, então não se deve usar determinado modelo de simulação.

No que diz respeito aos critérios de avaliação, algumas das análises podem ser feitas via comparação de estatísticas descritivas como médias, desvio padrão e o percentual de mudança. Além das análises descritivas, podem ser realizados testes de inferência de comparação entre médias (Dale et al., 1999 *apud* Neto, 2004).

2.3 Simulação de Tráfego

Para Portugal (2005) *apud* Medeiros (2012), o objetivo da simulação é representar, através de modelos comportamentais, as interações dos elementos de um sistema para avaliar seu desempenho.

A preocupação maior dos técnicos na utilização de simulação microscópica para a realização de estudos de tráfego é poder contar com resultados que efetivamente reflitam a realidade dos cenários simulados. Somente assim é possível desenvolver

alternativas de controle de tráfego de alta qualidade e eleger a melhor para dar soluções aos problemas de trânsito nas áreas urbanas. Segundo Cunto e Loureiro (2011), o emprego de técnicas de microsimulação tem possibilitado a criação de novas tecnologias voltadas à otimização do desempenho operacional dos sistemas de transportes urbanos.

Segundo Medeiros (2012), o uso de simuladores permite que novas estratégias ou projetos sejam testados antes de serem postos em prática. Isso gera grande vantagem, pois seus impactos podem ser conhecidos e apresentados à comunidade e principalmente aos investidores, tornando o processo de decisão muito mais sólido.

May (1990) *apud* Medeiros (2012), explicam que o uso de simulação pode ser vantajoso inclusive por possibilitar análises de alternativas e cenários. Com isso, um projeto, antes de ser implantado, pode ser submetido às mais variadas condições com a finalidade de testar seus limites de eficiência.

No que diz respeito à classificação dos softwares de simulação, Silva e Tyler (2001) explicam que o nível de desagregação dos elementos é o que os distingue em: Macroscópicos, mesoscópicos ou microscópicos. Almeida Junior (2007) descreve os modelos da seguinte forma:

Macroscópicos: Simulam o comportamento dos fluxos de tráfego e não dos movimentos dos veículos individuais. São aplicados normalmente em estudos estratégicos, onde as unidades de análise são mais agregadas. São capazes de medir velocidade, densidade e fluxo.

Mesoscópicos: Têm capacidade de simular estratégias de coordenação semafórica. As unidades analisadas são grupos de veículos que se formam ao trafegarem pelos sistemas viários, formando pelotões, decorrentes da operação de semáforos. Abrangem, portanto, aspectos comuns aos modelos macroscópicos e microscópicos.

Microscópicos: Analisam as interações de veículo para veículo, fornecendo velocidades contínuas ou discretas bem como a posição de cada veículo. Possibilita

estudo de fluxos não homogêneos ou ininterruptos. Segundo Silva e Tyler (2001) os modelos microscópicos tratam das relações entre veículos, guiados por modelos comportamentais.

Segundo Medeiros (2012) os diferentes campos de aplicação dos modelos exigem ferramentas com objetivos distintos, resumidos na tabela a seguir.

Tabela 2.2 - Aplicação dos Modelos de Simulação

MODELOS	APLICAÇÃO
Macroscópico	Planejamento de intervenções estratégicas
	Simulação de médias/grandes áreas
	Implementação de novas vias
	Duplicação de vias
	Análises de intervenções táticas
Mesoscópicos	Simulação de médias/grandes áreas
	Implementação de novas vias
	Duplicação de vias
	Definição de rotas de veículos
	Verificação das mudanças de rotas de veículos segundo estímulos
Microscópico	Análises de intervenções operacionais
	Simulação de pequenas/médias áreas
	Análises de esquemas alternativos de controle de tráfego
	Alteração na operação semafórica
	Entrada e saída - acessos "agulhas"
	Definição de rotas de veículos
Análise de esquemas de operação de tráfego em área	
	Verificação das mudanças de rotas de veículos segundo estímulos

Fonte: Adaptado de Maia (1978), *apud* Medeiros (2012)

Os *softwares* de simulação são ferramentas estratégicas na elaboração de estudos e desenvolvimento de projetos em engenharia de transportes. Para especialistas da área de tráfego a simulação representa uma forma de comparar e avaliar alternativas de projeto e seus respectivos impactos, assim como fazer a seleção de formas de atuação nas redes de transportes, com o objetivo de garantir maior assertividade de forma a minimizar o transtorno aos usuários e maximizar a eficácia na aplicação de recursos financeiros.

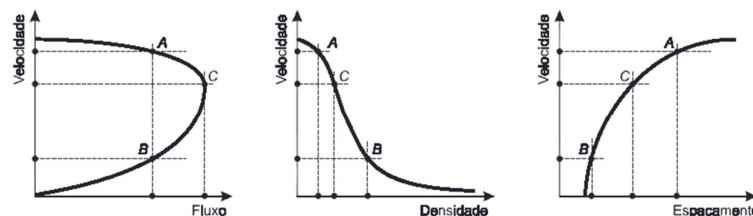
De acordo com PTV (2012) os *softwares* com abordagem microscópica (como o VISSIM) descrevem as características do fluxo de veículos a partir de relações estabelecidas entre eles. Geralmente seguem dois modelos de comportamento principais: *car-following* e *lane-changing*.

2.3.1.1 Modelo Car-Following

A lógica do modelo *car-following* (modelo de perseguição) é o de comportamento psicofísico do motorista, desenvolvido por Wiedemann em 1974, com uma variação do mesmo no ano de 1999 (PTV GROUP, 2012). O conceito básico deste modelo é que o motorista de um veículo em movimento com maior velocidade começa a desacelerar, até atingir o seu limite de percepção individual de que atingiu uma velocidade adequada, frente a um veículo próximo que está se deslocando com menor velocidade. Como ele não pode determinar exatamente a velocidade do veículo próximo, sua velocidade irá cair abaixo da velocidade desse veículo; ele começa a acelerar ligeiramente após chegar a outro limite de percepção. Isto resulta em um processo iterativo de aceleração e desaceleração.

Durante a simulação em uma rede com mais de uma faixa de tráfego os veículos tendem a ocupar a faixa de tráfego onde existe o maior espaçamento, de forma que possam desenvolver maior velocidade possível. Essa velocidade é escolhida em função do espaçamento entre o veículo (seguidor) e o veículo que viaja à sua frente (líder), na mesma faixa de tráfego. Esse modelo de *car-following* determina a velocidade do veículo por meio de uma relação fluxo-velocidade, definida para cada um dos tramos da rede, conforme a seguir.

Gráfico 2.3 - Determinação da velocidade do veículo a partir da relação fluxo-velocidade



Fonte: (GOMES, 2004)

De acordo com o PTV GROUP (2012), os modelos de Wiedemann de 1974 e 1999 diferem com relação aos parâmetros considerados. No de 1974, recomendado para simulação do tráfego em áreas urbanas, os parâmetros *default* são a distância média de parada e a distância de segurança, que são calculadas por uma fórmula composta de duas partes: uma aditiva e uma multiplicativa. No modelo de 1999, recomendado para áreas interurbanas ou rodovias, foram incorporados outros critérios refletidos em dez parâmetros de comportamento.

Apesar da riqueza de parâmetros com que os modelos de *car-following* são compostos, para esta pesquisa, os valores *default* do *software* foram preservados conforme o manual, exceto para as motos, cujos parâmetros foram alterados para refletir o comportamento dos motociclistas em circular entre os demais veículos.

2.3.1.2 Lane-changing

Com respeito ao modelo *lane-changing* (troca de faixa) no VISSIM, ele foi originalmente desenvolvido por Willmann e Sparmann (1978), *apud* Gao (2008). Nesse modelo, se o condutor pretende mudar de faixa, primeiro ele tenta encontrar uma folga ou *gap* apropriada na corrente de tráfego da faixa de destino. Nessa tomada de decisão de mudança de faixa três perguntas precisam ser avaliadas: se a mudança é desejável, se a mudança é favorável e se é possível.

Existem basicamente dois tipos de mudanças de faixa no VISSIM, a mudança de faixa necessária (a fim de alcançar o conector seguinte de uma rota) e a mudança de faixa livre (devido à disponibilidade de espaço em faixas adjacentes de alta velocidade, permitindo aumentar a velocidade atual do veículo).

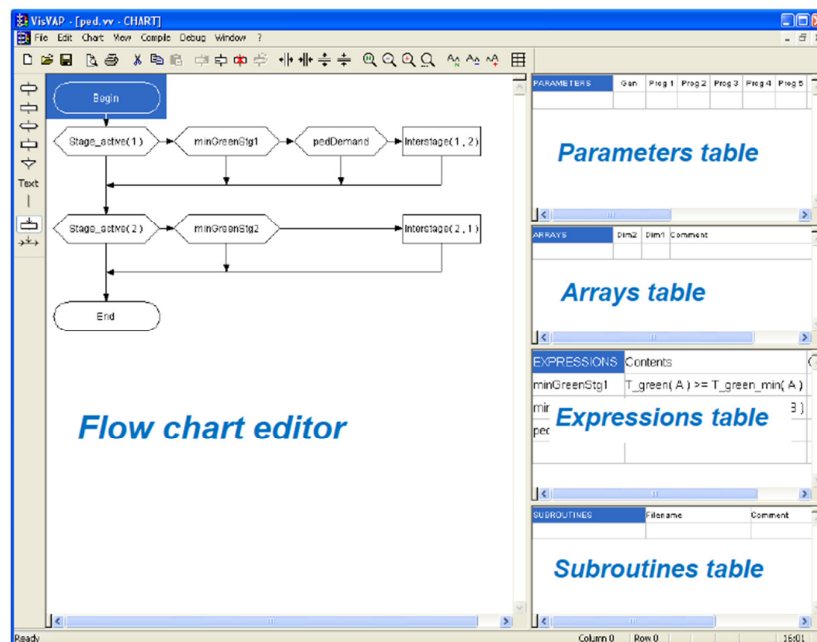
2.3.1.3 Vehicle Actuated Programming (VAP)

É possível modelar no VISSIM a estratégia de controle semafórico atuado. Para isso é necessário programar a lógica no módulo externo VAP que age, durante a simulação, como um gerador de estado de sinal. Este módulo permite ao usuário definir sua própria lógica de controle de sinal, incluindo na programação dos controladores semafóricos requisitos de prioridade absoluta (incondicional) ou

prioridade condicional, cujos critérios comumente adotados são: a lotação dos veículos e a aderência à programação horária. Este módulo tem sido aplicado em estudos de microssimulação na Europa e Estados Unidos e, no entanto, não foram encontradas referências bibliográficas da aplicação do VAP/VISVAP no Brasil.

O editor gráfico VISVAP permite que a lógica a ser programada no VAP seja escrita através de fluxogramas. O VISVAP possui uma biblioteca na qual estão listados todos os comandos VAP. A ilustração a seguir apresenta um exemplo de lógica escrita neste tipo de programação.

Figura 2-16 - Exemplo de Programação em VISVAP



Fonte: (PTV GROUP, 2012)

O gerador de lógica de controle de sinal externo envia informações para o VISSIM para cada junção de sinal controlado. Outros controles para lógica de sinal também estão disponíveis. Mas, por ser o VAP o de interface mais amigável, optou-se por utilizá-lo como o gerador de sinal de estado para esta dissertação.

Os comandos permitem mudar a imagem de grupos de sinais simples, de forma a mudar de uma fase para a outra. Além disso, existe a possibilidade de definir sub-rotinas, as condições e os parâmetros constantes para facilitar a programação. A

programação em VISVAP utilizada nesta dissertação para a construção da lógica de prioridade semafórica consta no Anexo C.

O referencial teórico apresentado neste item permite fundamentar a proposta metodológica aplicada no capítulo 4, que envolve a compreensão da operação do corredor com faixa exclusiva junto ao canteiro central, a escolha de um sistema de prioridade semafórica e as características dos modelos de microsimulação, empregados para avaliação e obtenção dos resultados.

O capítulo a seguir caracteriza o corredor em termos físicos, de demanda e identifica eventuais problemas operacionais.

3 O CORREDOR REFERENCIAL

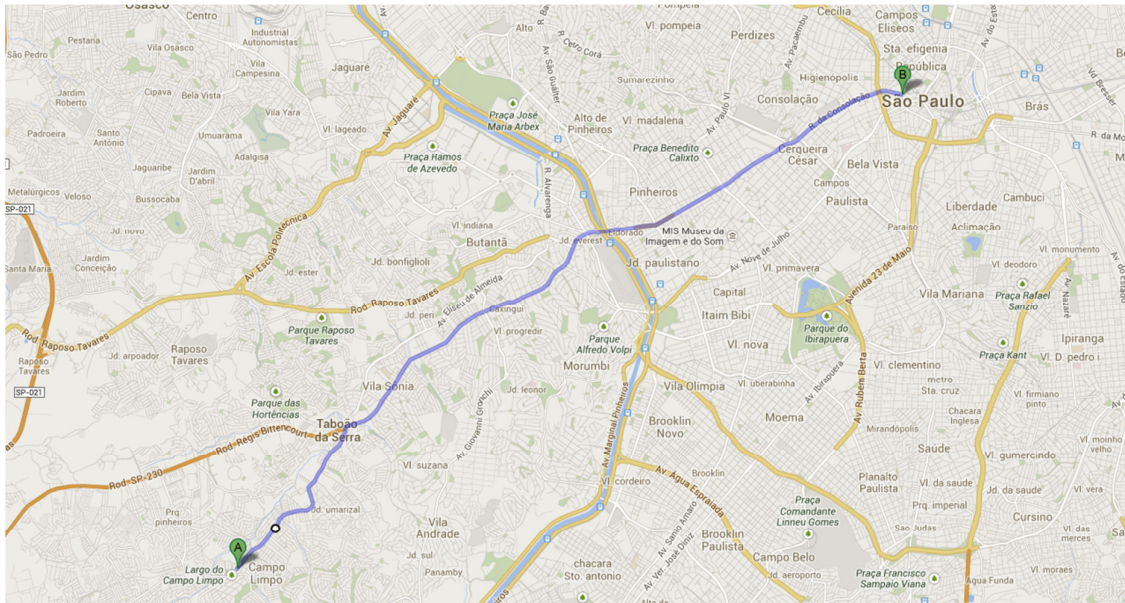
Este capítulo está dividido em duas partes, sendo a primeira a caracterização do corredor em termos físicos, de oferta e operacional. A segunda parte identifica através do Sistema de Monitoramento da SPTRANS os principais pontos de retardo ao longo do corredor e justifica, a partir dessa análise, um trecho no qual o foi construída uma rede de microssimulação para testar a efetividade do TSP.

3.1 Corredor Campo Limpo - Rebouças - Centro

No ano de 2004 foi concluída a implantação do Corredor Campo Limpo/Rebouças/Centro, caracterizado por uma faixa exclusiva à esquerda, junto ao canteiro central em cada sentido da via, sem faixas adicionais de ultrapassagem nos pontos.

O corredor tem início na estrada do Campo Limpo, na qual os ônibus circulam em via preferencial à direita da via até a av. Prof. Francisco Morato, onde passam a circular em via exclusiva junto ao canteiro central, cerca de um quilômetro a jusante do local onde será construída a futura Estação Vila Sônia da Linha 4 - Amarela do Metrô. O corredor segue ao longo das avenidas Eusébio Matoso e Rebouças e Rua da Consolação, chegando ao centro da cidade, onde termina, na altura da contrarrótula (Praça Roosevelt), somando aproximadamente 17 km de extensão, conforme apresentado na Figura 3-1.

Figura 3-1- Corredor Campo Limpo - Rebouças - Centro



Fonte: (GOOGLE MAPS, 2013)

Ao longo deste eixo viário, que tem uma das extremidades no centro da cidade, estão localizados importantes polos geradores de viagens: três subcentros (Campo Limpo no extremo mais a oeste, Butantã e Pinheiros nas proximidades do rio Pinheiros), o maior complexo hospitalar do país, o Hospital das Clínicas, e os *shoppings* Butantã e Eldorado. A existência desses equipamentos urbanos explica uma parte do alto fluxo de automóveis e transporte público coletivo em toda a extensão do corredor.

A velocidade média comercial dos ônibus no Corredor é de 17 km/h no pico da manhã, sentido Bairro - Centro, e de 16 km/h no sentido oposto. O maior carregamento do corredor está concentrado no período da tarde no sentido Centro-Bairro, e concentra 33% da demanda média num dia útil (SPTRANS, 2012). A Tabela 3.1 apresenta os dados operacionais do corredor.

Tabela 3.1 - Dados operacionais do corredor¹⁸

CORREDOR	CAMPO LIMPO-REBOUÇAS-CENTRO		
	Bairro Centro	Centro Bairro	Total
Extensão (km)	17	17	34
Frota pico manhã (5h00 às 7h59)	374	226	600
Intervalo (hora pico manhã) – segundos	48s	79s	-
Frota pico tarde (15h00 às 18h59)	364	343	707
Intervalo (hora pico tarde) – segundos	49s	52s	-
Passageiros transportados (média /dia/ útil)	150.438	127.933	278.371
Passageiros no pico manhã (5h00 às 7h59)	46.373	18.223	64.596
Fator hora pico manhã	30%	7,8%	23%
Passageiros no pico tarde (15h00 às 18h59)	33.153	42.457	75.610
Fator hora pico tarde	22%	33%	27%
Tempo médio de percurso (minutos)	59	61	60
Velocidade média (km/h)	17	16	17

Fonte: (SPTRANS, 2012)

A Linha 4 - Amarela do Metrô iniciou sua operação comercial em 2010 e segue, em grande parte de sua extensão, paralela ao corredor. A linha ainda está incompleta, com apenas quatro estações no trecho entre a Avenida Paulista e a Avenida Vital Brasil: Estação Paulista/Consolação, Estação Faria Lima, Estação Pinheiros e Estação Butantã.

Os principais problemas do Corredor Campo Limpo - Rebouças - Centro são:

- a inexistência de um terminal de integração que permita a racionalização dos serviços que o utilizam;
- a ausência de faixas de ultrapassagem nas paradas, o que limita sua capacidade de transporte.
- cruzamento em nível com importantes vias da cidade é fator limitante para maior eficiência operacional.
- Compartilhamento da via exclusiva com os ônibus metropolitanos e táxis (quando em atendimento), pode prejudicar o desempenho dos veículos do sistema para os quais o corredor foi projetado.

¹⁸ As definições sobre os dados apresentados na tabela constam no Apêndice A

É possível observar na figura a seguir a interferência de veículos de outros sistemas na operação do corredor. Os gráficos subsequentes apresentam as variações da velocidade e tempo médio de viagem ao longo do ano operacional, segundo as faixas horárias, respectivamente.

Figura 3-2 - Compartilhamento da via exclusiva com sistema metropolitano



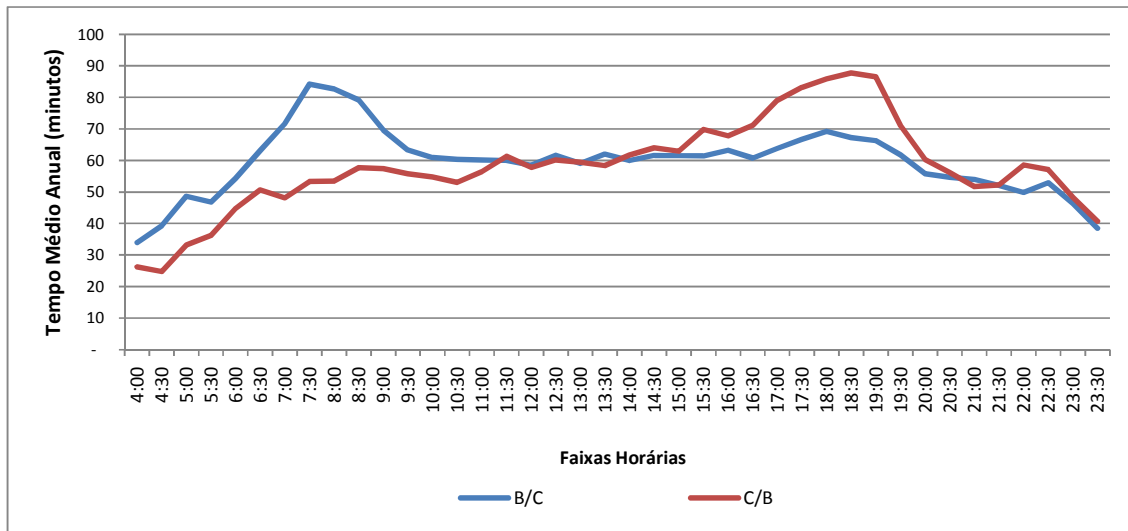
Fonte: (AUTOR, 2015)

Gráfico 3.1 - Velocidade média anual por faixa horária e sentido



Fonte: (SPTRANS, 2012)

Gráfico 3.2 - Tempo médio de viagem anual por faixa horária e sentido



Fonte: (SPTRANS, 2012)

Por se tratar de um corredor exclusivo e, portanto com menos interferências do tráfego geral, a variabilidade dos tempos médios de viagem não se altera de forma significativa nos horários de entre pico. No entanto, observam-se grandes alterações nos horários de maior solicitação do sistema. Segundo Silva e Serratini (2010) o tempo de viagem pode ser afetado pelos seguintes fatores: condições meteorológicas, concentração de demanda, volume de tráfego e as características físicas de uma determinada rota.

Redman et al. (2012) pesquisaram em relatórios técnicos e nas produções acadêmicas quais características do transporte público coletivo poderiam de fato contribuir para um sistema de qualidade. De acordo com a pesquisa deles os principais atributos podem ser divididos em duas categorias: atributos físicos e atributos percebidos. Na Tabela 3.2 são apresentados os atributos mais comuns de serem estudados conforme essas duas categorias.

Tabela 3.2 - Atributos de qualidade do transporte público coletivo

	Atributo	Definição
Físicos	Regularidade	Aderência à programação.
	Frequência	O quanto um serviço opera em determinado período.
	Velocidade (Tempo)	Tempo gasto em viagem entre a origem e o destino.
	Acessibilidade	Grau de disponibilidade do transporte público coletivo (democratização).
	Preço	Custo monetário da viagem.
	Sistemas de Informações	Quanto às informações acerca das viagens e transferências são disponibilizadas.
	Facilidade nas Transferências	Simplicidade nas transferências e tempo gasto esperando.
	Boas condições dos veículos	Aspectos físicos dos veículos, mecânicos e avarias.
Percebidos	Conforto	Viajar sentado, ar condicionado, emissão de ruídos.
	Segurança	Quanto os passageiros se sentem seguros em relação a acidentes de trânsito.
	Conveniência	Facilidade de utilizar o transporte.
	Estética (Comunicação Visual)	Aparência dos veículos, terminais e pontos de parada.

Fonte: (REDMAN *et al.*, 2012)

Das definições acima apresentadas um dos atributos merece especial destaque. É a velocidade, que será o principal indicador a ser avaliado nas simulações que serão feitas nesta pesquisa. Para Neto (2004) o aumento da velocidade dos ônibus pode proporcionar impactos positivos sobre os tempos de viagem e conforto dos usuários, além de possibilitar redução dos custos operacionais, tarifas e melhoria da regularidade e confiabilidade dos serviços, proporcionando maior atratividade para o sistema.

3.2 Trecho selecionado

Julgou-se importante selecionar um trecho do corredor para pôr prática a prioridade condicional. Embora o objetivo seja apenas testar a aplicabilidade do TSP, a

utilização de dados de oferta reais poderá facilitar a compreensão dos resultados obtidos com a simulação.

Portanto, para viabilizar o uso do modelo de simulação VISSIM 5.40 (*Student Version*), foi selecionado um trecho de aproximadamente dois quilômetros entre a av. Paulista e rua Caio Prado, cuja metodologia para seleção, bem como as características físicas e de composição de tráfego serão a seguir descritas. A ilustração a seguir localiza o trecho selecionado para a construção da rede de simulação.

Figura 3-3 - Trecho Selecionado



Fonte: (AUTOR, 2015)

Para seleção do trecho foram analisados os dados obtidos do Sistema Integrado de Monitoramento (SIM)¹⁹ da SPTRANS. Esses dados foram geocodificados e plotados em mapas de temperatura *heatmaps*, que serão apresentados adiante.

¹⁹ SIM – Sistema Integrado de Monitoramento é o sistema utilizado pela SPTrans para monitorar os veículos do transporte coletivo municipal por ônibus em São Paulo.

A aplicação de sistemas de monitoramento de frotas tem se tornado cada vez mais comum nas cidades brasileiras, e de acordo com a SPTRANS (2009), esses sistemas são, geralmente, desenvolvidos para:

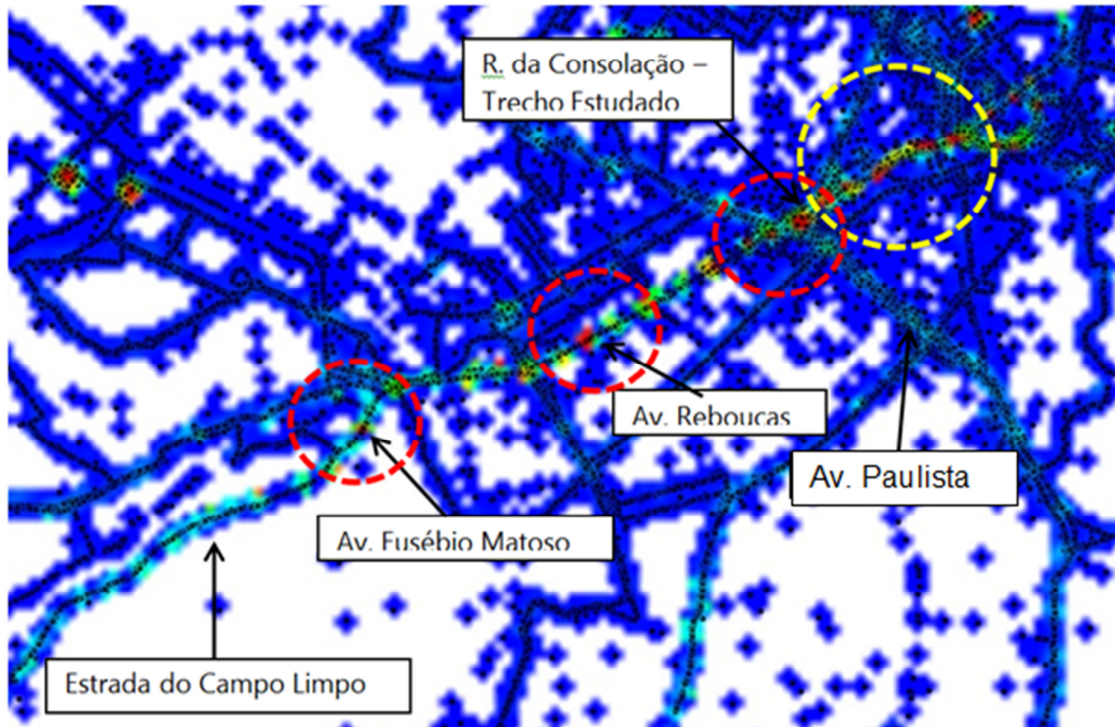
- controle/monitoramento automático dos ônibus;
- localização instantânea em situações de emergência;
- coleta de dados operacionais úteis para fins de fiscalização e planejamento;
- integração com outros dispositivos de controle instalados nos ônibus (Ex: validadores eletrônicos, contadores de passageiros);
- implementação de sistemas de informação ao usuário em tempo real.

Os dados coletados do SIM, especificamente os que se referem ao AVL²⁰, contêm informações acerca da linha, hora, prefixo do veículo e dois campos adicionais para controle interno do SIM.

Para o dia 06.03.2013, data do rastreo, foram registrados 418.340 pontos para as 36 linhas que trafegam no corredor. A Figura 3.4, elaborada no *software* Mapinfo, ilustra uma análise simplificada da utilização dos dados de rastreamento para identificar os locais onde ocorrem as maiores retenções. Os locais representados pela cor azul indicam a passagem dos ônibus em fluxo livre (poucas plotagens sobrepostas), portanto, sujeitas a poucas interferências (retardamentos), sejam elas os pontos de parada, interseções semaforizadas ou congestionamentos e conseqüentemente desempenham melhor velocidade.

20 Este equipamento é composto de microprocessador, receptor de GPS (Sistema de Posicionamento Geográfico) para localização dos veículos, *modem* GSM/GPRS, memória de dados do tipo *flash* (não volátil), circuito para entrada/saída de áudio, entradas e saídas digitais e terminal de dados.

Figura 3-4 - Mapa de temperatura - Rastreamento por GPS - SIM



Fonte: (AUTOR, 2015)

Ao longo do corredor foi possível observar várias regiões marcadas em vermelho e amarelo, ou seja, os locais onde os retardos ocorrem com maior intensidade. Porém um segmento merece especial destaque, a Rua da Consolação.

Em função da quantidade de retenções e da disponibilidade de informações tais como: as contagens volumétricas classificadas e os dados obtidos do SIM foi julgado pertinente escolher este trecho para ser simulado e estudar os efeitos da aplicação do TSP nessas interseções.

Neste trecho do corredor, que mede aproximadamente dois quilômetros, é possível observar nove pontos de retardamento, os quais são descritos na próxima tabela.

Tabela 3.3 - Identificação dos retardamentos no trecho estudado

ID	DESCRIÇÃO
1	Interseção semaforizada entre avenida Paulista x rua da Consolação e ponto de parada do corredor (Parada Paulista)
2	Interseção semaforizada entre as ruas Matias Aires x Consolação
3	Ponto de parada do corredor (Parada Pedro Taques)
4	Interseção semaforizada entre as ruas Sergipe x Consolação
5	Interseção semaforizada entre as ruas Dona Antônia de Queirós x Consolação
6	Ponto de parada do corredor (Parada Dona Antônia de Queirós)
7	Interseção semaforizada entre as ruas Caio Prado x Consolação e ponto de parada do corredor (Parada Caio Prado)
8	Interseção semaforizada (Pedestres) e acesso a rua Amaral Gurgel
9	Interseção semaforizada entre avenida Ipiranga x Consolação (sentido Bairro-Centro)

Fonte: (AUTOR, 2015)

Na Figura 3-5, que é uma ampliação do trecho circulado em amarelo figura anterior, é possível identificar as interseções semaforizadas e os pontos de parada do trecho. A observação das informações do rastreamento dos veículos, no trecho escolhido, foi geocodificada através de suas coordenadas geográficas e por meio do *Application Programming Interface (API) Google Maps e Fusion Tables*, aplicativos gratuitos disponibilizados pelo *Google* que permitem criar mapas customizados a partir da análise de tabelas externas.

O resultado identifica que os retardamentos ou atrasos estão localizados próximos aos pontos de parada e às interseções semaforizadas. Esse comportamento deverá ser refletido na calibração da rede, que será apresentada no item 4 deste trabalho. É importante considerar que não há um ciclo semafórico exclusivo para os ônibus e, portanto, as retenções, que são aplicadas em semáforos, implicam em atrasos para todos dos modos. Sendo assim, sempre que uma prioridade de passagem for dada ao ônibus, os demais modos que circulam na mesma via priorizada, deverão se beneficiar.

Figura 3-5 - Heat Map - Detalhamento do trecho a ser estudado



Fonte: (AUTOR, 2015)

O item a seguir apresenta aspectos relacionados à construção da rede de microssimulação, para o trecho acima identificado, inclusive a calibração da rede base sobre a qual são desenvolvidos os cenários de aplicação do TSP.

4 CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM 5.40

Este capítulo trata da última etapa antes da aplicação do TSP. A construção da rede de simulação requer uma série de processos que devem ser cuidadosamente incluídos. Atributos físicos tais como a geometria da via, localização dos pontos de parada, interseções semaforizadas, assim como a oferta de transporte, tanto coletivo quanto individual, precisam retratar no simulador a situação mais próxima possível da vivenciada em ambiente real.

O procedimento de calibração da rede e a concepção da rede base (referencial), sobre a qual os cenários serão aplicados, são apresentados no final deste item.

4.1 Rede de Simulação

4.1.1 Características Operacionais do Trecho

Para a construção da rede no VISSIM é necessário tomar conhecimento dos parâmetros operacionais do trecho a ser simulado. Neste contexto, três características são fundamentais para retratar a operação atual do trecho:

- Tráfego Geral: Volume, velocidade média e composição do tráfego;
- Transporte Coletivo: Itinerários, intervalos, tipos de veículo, velocidade;
- Infraestrutura: Geometria da via, quantidade de faixas de rolamento, localização dos pontos de parada e interseções semaforizadas e respectivos ciclos semaforicos.

4.1.2 Tráfego Geral

No que diz respeito à caracterização do tráfego geral, esses parâmetros identificam as características do tráfego e são comumente quantificados em termos de taxas de fluxo ou volume de veículos, pela velocidade ou taxa de tempo do movimento e pela densidade ou concentração de veículos conforme DNIT (2008).

O volume de tráfego é definido, segundo o DNIT/IPR (2006), *apud* DNIT (2008), como o número de veículos que passam por uma seção de uma via em um

determinado intervalo de tempo. Usualmente adota-se intervalos de quinze minutos para que seja possível identificar possíveis variações dos fluxos.

Embora a análise do tráfego geral não seja o objeto principal desta pesquisa, é importante observar corretamente os volumes porque estes dados serão inseridos na rede de simulação e são fundamentais para determinação dos ciclos semafóricos atuais. Segundo Li, M. et al. (2011), não analisar os impactos da priorização semafórica para o transporte público coletivo sobre o tráfego não priorizado é um erro conceitual, muito encontrado nas primeiras implantações de TSP. Foi realizada pela CET/SP (2012) a Pesquisa de Contagem Volumétrica Classificada. Neste tipo de pesquisa são registrados os fluxos por tipo de veículo em intervalos de 15 minutos e identificados os períodos de pico manhã e pico tarde. O Fator Hora Pico (FHP) foi calculado pela CET/SP (2012), provindo do HCM 2000, conforme segue:

(1)

$$F_{PH} = V_{HP} / 4.V_{15}$$

Onde:

V_{HP} - Volume Hora de Pico

V_{15} - Volume dos 15 minutos consecutivos de maior tráfego dentro da hora de pico.

A hora pico para o período da manhã ficou estabelecida entre 8h e 9h e para o período da tarde entre 16h45 e 17h45. Neste trabalho será utilizada, para alimentação da rede de simulação, a hora de pico manhã.

Os resultados da Pesquisa de Contagem Volumétrica Classificada concernente aos cruzamentos do trecho estudado estão apresentados no Anexo B deste trabalho.

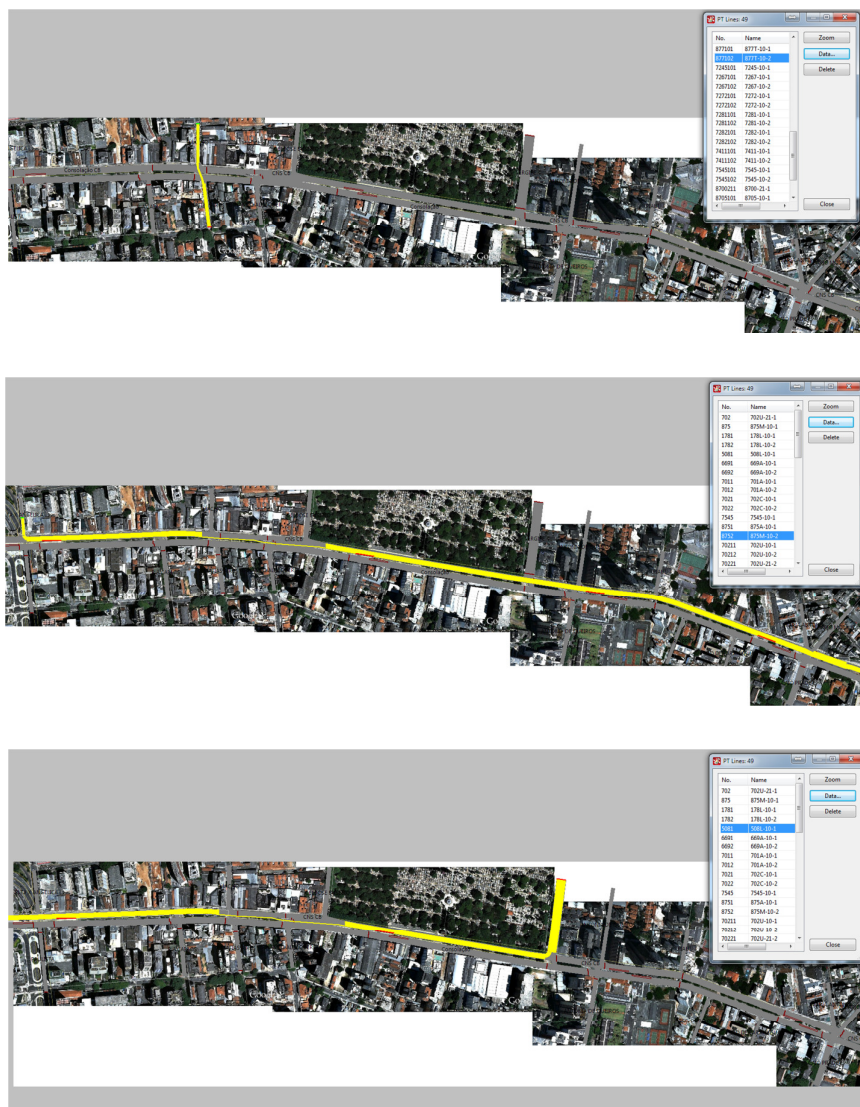
4.1.3 Transporte Coletivo

Foram relacionados apenas os itinerários que operam neste trecho do corredor. Mesmo que percorra parcialmente o trecho, por exemplo os itinerários das linhas 875M-10, 508L-10 e 877T-10 foram cadastrados. Isso pois julgou-se importante considerar que eventuais mudanças de faixas e o atendimento aos pontos de

paradas poderiam influenciar no desempenho geral do corredor. Exemplos de possíveis influências: variações nos volumes, nos intervalos e velocidade média. Estes itinerários, cadastrados no Vissim, são apresentados na a seguir.

É importante destacar que os serviços que não operam no corredor, tais como: os ônibus fretados ou rodoviários e os serviços metropolitanos, não serão tratados nesta pesquisa.

Figura 4-1 - Exemplos de Itinerários Cadastrados no VISSIM



Fonte: (AUTOR, 2015)

As características operacionais dos itinerários cadastrados no VISSIM foram obtidas junto à SPTRANS, mediante cadastro no *site* da empresa disponível em: <http://www.sptrans.com.br/desenvolvedores>, acessado em 01.2015. Os arquivos obtidos em formato “txt”, apresentados na figura seguir, foram manipulados em ambiente SIG e foram extraídos do banco de dados apenas as linhas que prestam atendimento ao trecho selecionado, bem como suas respectivas frequências planejadas e os tempos de partida e chegada em cada ponto de parada, conforme a ilustração a seguir.

Figura 4-2 - Exemplo dos dados obtidos: Frequências e Tempos entre os pontos de parada

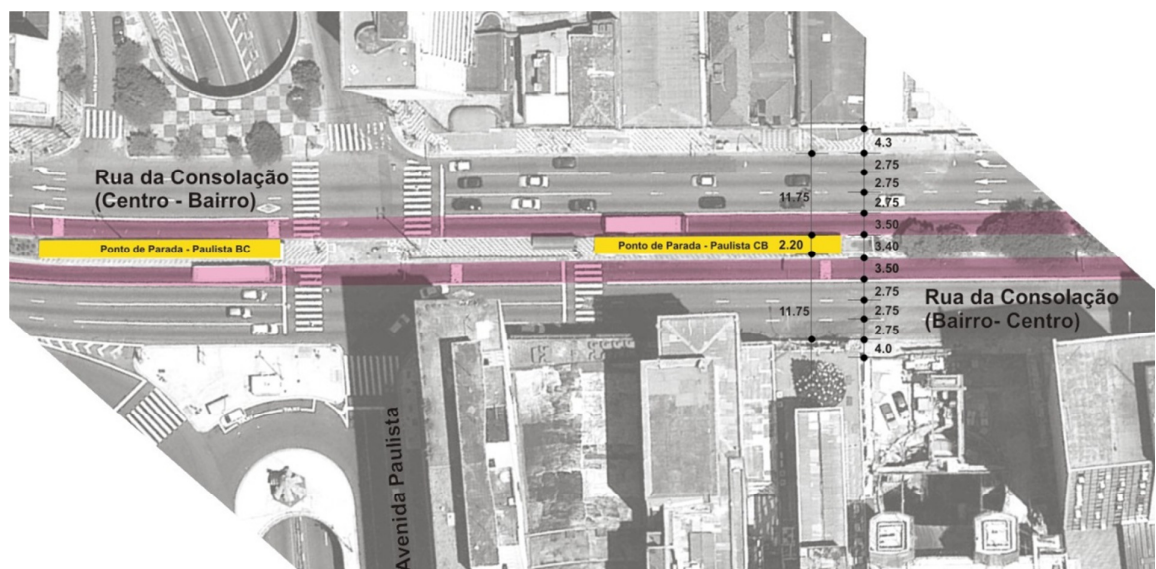
The image shows two Notepad windows side-by-side. The left window, titled 'frequencias.txt - Notepad', displays a table with columns: 'trip_id', 'start_time', 'end_time', and 'headway_secs'. The data consists of rows for various trip IDs (e.g., 1015-10-0, 1016-10-0, 1016-10-1) with corresponding start and end times and headway values in seconds. The right window, titled 'stop_times.txt - Notepad', displays a table with columns: 'trip_id', 'arrival_time', 'departure_time', 'stop_id', and 'stop_sequence'. This table provides detailed stop information for the same trip IDs, including arrival and departure times and the specific stop ID and sequence number.

Fonte: (SPTRANS, 2015)

4.1.4 Infraestrutura

No que diz respeito à configuração geométrica da via, o eixo estudado se desenvolve em pista dupla, separada por canteiro central, com três faixas de 2,75 m de largura para o tráfego geral e uma faixa adicional exclusiva para o transporte público coletivo com 3,5 m de largura em ambos os sentidos. A largura das vias que serão representadas no modelo e utilizadas para a determinação do nível de serviço atual, exceto em determinados pontos onde há acréscimo de faixas, seguirá conforme a seguir.

Figura 4-3 - Seção típica da Rua da Consolação



Fonte: (AUTOR, 2015)

Outras características, como o greide e o nível de serviço da via, foram consideradas indiretamente, já que a calibração da rede trará consigo eventuais alterações de velocidade decorrentes dessas características.

Os *links* e os conectores da rede representam os caminhos por onde os volumes alocados deverão fluir. Neste sentido, é fundamental que as condições físicas e geométricas das vias que comporão a rede sejam representadas da forma mais correta possível. Para isso recorreu-se às fotos aéreas (Google Earth Pro) e eventuais inspeções de campo. A Figura 4-4 apresenta parte da rede de simulação.

Figura 4-4 - Links, conectores e pontos de parada do trecho selecionado



Fonte: (AUTOR, 2015)

Além dos *links*, conectores, semáforos e pontos de parada, foram também incluídas algumas funcionalidades do VISSIM que proporcionam maior realidade aos movimentos dos veículos, tais como: áreas de conflito e áreas de redução de velocidade. A primeira visa dar prioridade à passagem para um determinado movimento (na figura, a preferência está marcada para quem circula na rua da Consolação) e a segunda (marcada em azul), reduz a velocidade dos veículos durante as conversões.

Figura 4-5 - Áreas de Conflito e Áreas de Redução de Velocidade



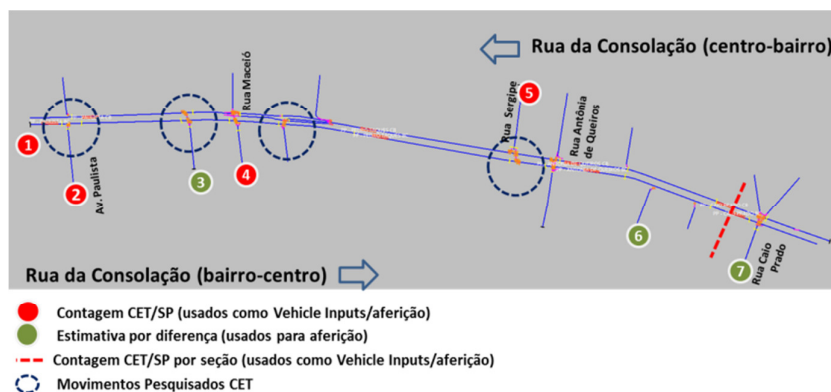
Fonte: (AUTOR, 2015)

4.1.4.1 Tráfego

O último procedimento elaborado para a construção da rede de simulação foi a inclusão dos dados relacionados ao tráfego. Os dados obtidos junto a CET/SP são provenientes da Pesquisa de Contagem Volumétrica Classificada elaborada em 2012, que foi cedida para este trabalho. Neste tipo de pesquisa, são registrados em intervalos de 15 minutos a quantidade e tipo de veículos, de acordo com os movimentos permitidos no sistema viário. A pesquisa foi realizada no horário de pico estabelecido pela CET/SP, entre 8h45 e 9h45. Embora os locais não tenham sido pesquisados na mesma data, como de praxe na elaboração de projetos de sistemas viários, julgou-se que, para os fins dessa dissertação, poderiam ser utilizados sem gerar maiores prejuízos, uma vez que, durante esse período, não foram observadas modificações no sistema viário que comprometessem os fluxos nos eixos estudados. Os resultados desta pesquisa constam do Anexo B.

Para cada local pesquisado foram atribuídos pontos de inserção de tráfego com seus respectivos volumes e composições, denominados no VISSIM como *vehicle inputs*, os quais estão indicados na Figura 4-6. Assim como os demais pontos de contagem, que não foram utilizados como *input* de tráfego, mas que, no entanto, foram úteis para aferição dos volumes no procedimento de calibração da rede. Os pontos de inserção de tráfego devem ser postos no início dos links, onde “nasce” o tráfego na rede.

Figura 4-6 - Vehicle Inputs

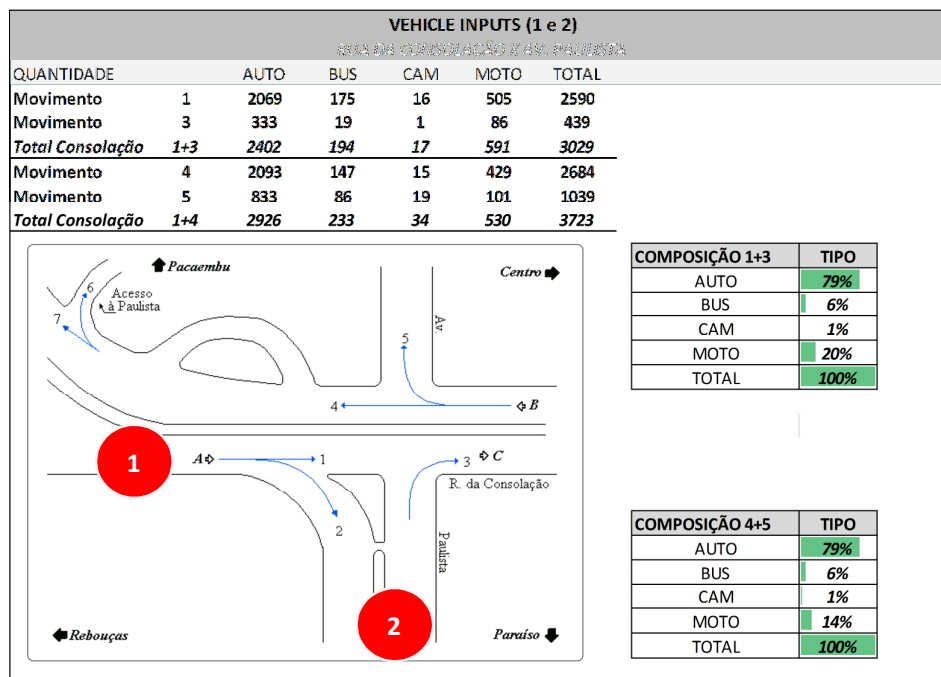


Fonte: (AUTOR, 2015)

As tabelas, contidas nas Figuras 4-7 até 4-9, apresentam os volumes de tráfego (para uma hora de contagem), para os respectivos *vehicle inputs*, apresentados na anterior. São também apresentadas suas respectivas composições - calculadas por tipo de veículo. Esses valores serviram, inclusive, como parâmetros para calibração da rede que será apresentada no próximo item. Os movimentos que não foram considerados foram excluídos da tabela, mas podem ser observados integralmente no Anexo B.

Apesar de calculados, alguns movimentos serviram apenas como parâmetros para calibração da rede como, por exemplo, os movimentos 4+5 identificados no mapa da Figura 4-7, que representa o volume da rua da Consolação sentido centro-bairro, no cruzamento com a Av. Paulista.

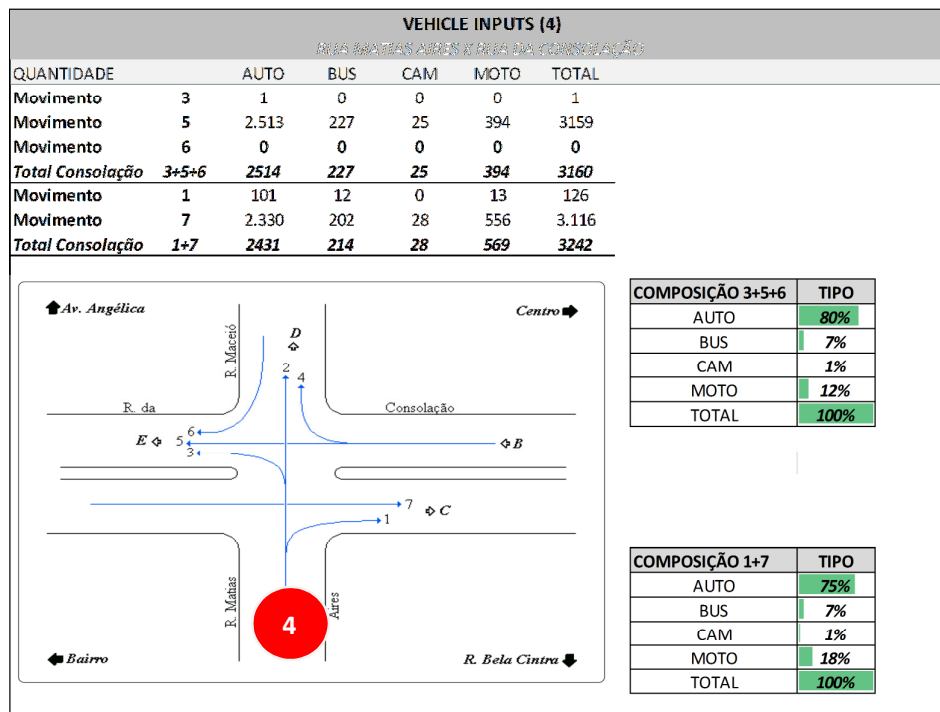
Figura 4-7 - Vehicle Inputs 1 e 2



Fonte: (AUTOR, 2015)

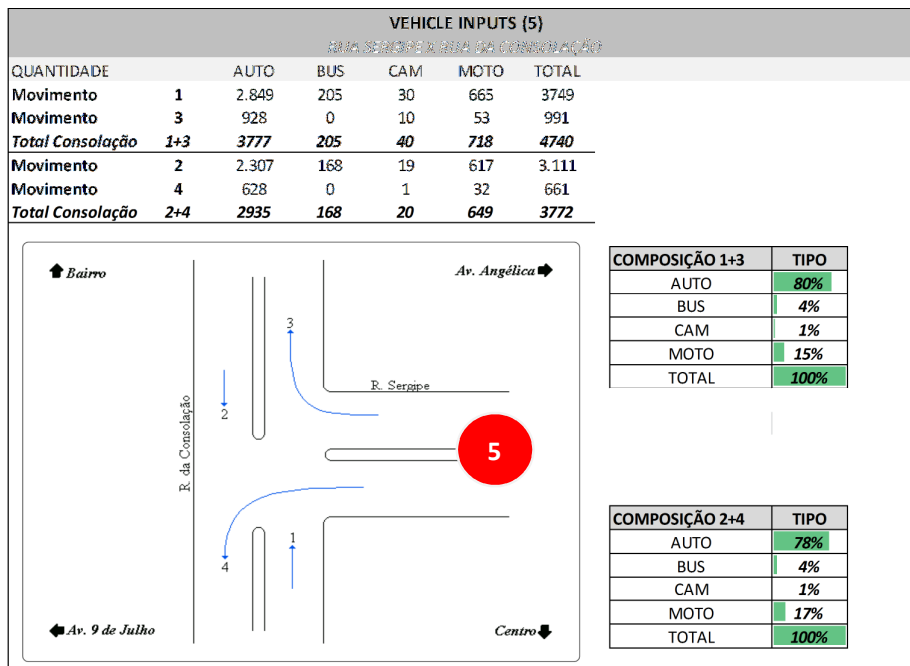
As Figuras 4.8 e 4.9 representam a parametrização do volume de tráfego nos cruzamentos da Rua da Consolação com as Ruas Maceió e Sergipe, respectivamente.

Figura 4-8 - Vehicle Inputs 4



Fonte: (AUTOR, 2015)

Figura 4-9 - Vehicle Inputs 5

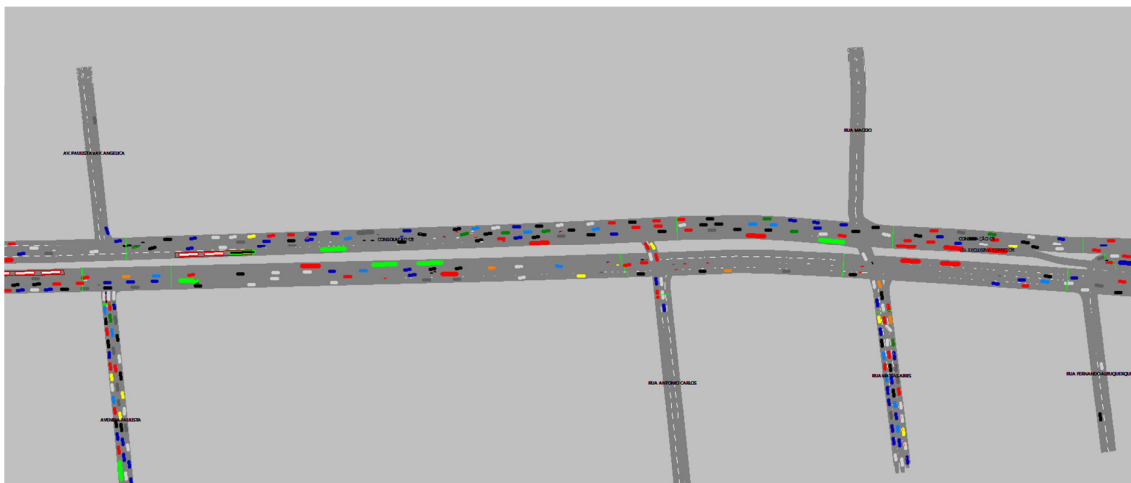


Fonte: (AUTOR, 2015)

Com a inclusão do tráfego foi possível proceder as primeiras simulações, em que eventuais erros de construção de rede puderam ser corrigidos, tais como: erros de conectividade entre *links* e conectores, de preferência de passagem, de localização dos semáforos e outros. É importante ressaltar que a rede precisa estar “aquecida” ou seja, os primeiros 15 minutos (900 segundos), devem ser reservados sempre a inclusão do tráfego na rede. Esse tempo pode variar conforme o tráfego e complexidade da rede a ser simulada. Também é recomendado que sejam feitas múltiplas rodadas para cada situação analisada, neste caso, por se tratar de uma rede simples, cujo objetivo central não é analisar o fluxo e o nível de serviço das vias, foram realizadas 5 rodadas para cada caso, os resultados apresentados são obtidos das médias de cada simulação.

A Figura 4-10 representa uma simulação inicial, na qual foram verificados os erros acima mencionados com a alocação do tráfego.

Figura 4-10 - Simulação de tráfego



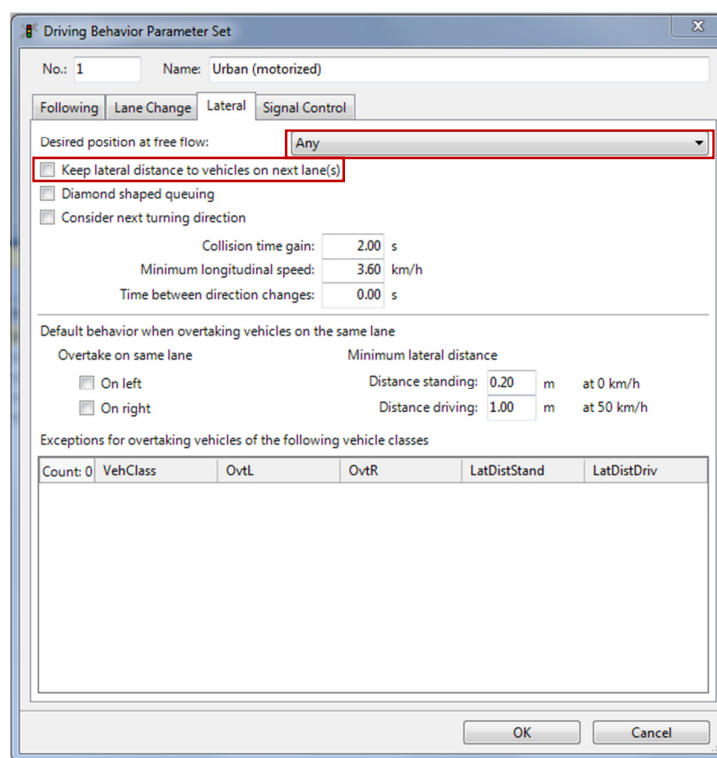
Fonte: (AUTOR, 2015)

4.2 Modelo Comportamental

Conforme mencionado anteriormente, foram considerados os valores default do VISSIM para os modelos comportamentais dos condutores, exceção feita ao comportamento dos motociclistas que, em São Paulo, costumam trafegar entre os veículos (entre as faixas de rolamento Figura 4-12) assumindo, portanto, um

comportamento mais agressivo que o especificado pelo software. Esse procedimento pode ser facilmente executado no Vissim. Para isso é necessário configurar alguns parâmetros no comportamental de condução das motos, especificamente no modo *Lateral*, deixando especificado o item “Any” em “Desired position at free flow”. Foi necessário também atuar sobre o comando que força as motos manter distanciamento lateral mínimo de segurança dos demais veículos, e conforme ilustrado na figura a seguir.

Figura 4-11 – Alterações no comportamento dos motociclistas



Fonte: (AUTOR, 2015)

Ressalta-se que, embora não seja objeto principal de análise desta dissertação, essa alteração dos parâmetros comportamentais influenciou na velocidade dos outros modos, principalmente dos automóveis e, por isso, julgou-se importante proceder esses ajustes cujo resultado pode ser observado na próxima ilustração.

Figura 4-12 - Simulação de tráfego - Detalhe

Fonte: (AUTOR, 2015)

4.3 Calibração do modelo

A literatura fornece muitos estudos de calibração baseados em casos diferentes, desde uma interseção isolada até redes complexas em áreas urbanas. Estes trabalhos utilizaram diferentes programas de computador para microssimulação e, segundo os cenários estudados, foram identificados parâmetros de calibração importantes. Assim, estes estudos desenvolveram procedimentos de calibração apropriados para cada caso.

A análise dos estudos de calibração existentes revela que existe uma variedade de parâmetros identificados em cada tipo de programa de microssimulação utilizado. Eles nem sempre coincidem, porque a lógica dos modelos comportamentais difere de um simulador para outro porque utilizam parâmetros peculiares.

A discussão sobre parâmetros de calibração de rede é vasta na literatura. Alguns pesquisadores procuraram desenvolver metodologias específicas para esta etapa da

simulação. Outros pesquisadores, conforme Sacks et al. (2002), *apud* Medeiros (2012), demonstraram um processo de validação informal, baseado em comparações visuais entre o simulado e o observado. Porém, segundo ainda Medeiros (2012), não há na literatura consenso sobre a indicação de uma metodologia única para a calibração de modelos de microsimulação. Segundo ele, a grande variedade de parâmetros de entrada desses modelos é o principal fator que contribui para essa falta de generalização metodológica.

Ayala (2013) acrescenta que os métodos de calibração e validação mais apropriados dependem, não somente da natureza do fenômeno que se deseja simular, mas sim da aplicação que se pretende dar ao modelo.

Silva e Tyler (2001) fizeram uma revisão bibliográfica sobre o assunto e relatam que os autores que se dispuseram a discutir métodos estatísticos para a validação de modelos microscópicos são unânimes ao constatar que: não há uma forma única, ou procedimento padronizado para validar esses tipos de modelos. A escolha da metodologia é sempre dependente do problema, afirmam Sargent (1982), *apud* Silva e Tyler (2001).

Diante dessas considerações, julgou-se suficiente calibrar a rede de simulação, comparando-se os volumes e velocidades observados versus os volumes simulados. Desta forma, os dados observados são aqueles obtidos da Pesquisa de Contagem Volumétrica Classificada por Movimentos, fornecida pela CET/SP, que consta no Apêndice B desta dissertação.

Os volumes observados foram comparados com os volumes simulados. Para isso, foram aplicados na rede sete contadores, nos mesmos locais onde a CET/SP executou sua pesquisa. Estes pontos de coleta de dados estão identificados na Tabela 4-1 com os números 13, 17, 31, 21, 9, 25 e 27. Cada ponto de coleta representa um ou mais movimentos pesquisados pela CET/SP. Os volumes obtidos para uma hora de simulação foram comparados com os volumes pesquisados (observados). Procurou-se estabelecer um maior rigor nos modos “BUS (S)” que representa os ônibus do corredor, e também para o modo “AUTO (S)”, que representa aproximadamente 80% da composição do tráfego. Já o modo

“MOTOS (S)”, foi analisado marginalmente e o modo “CAM (S)”, relacionado aos caminhões, foi apenas alocado na rede. Este modo não foi empregado no processo de calibração devido a sua baixa representatividade nos volumes observados, cerca de 1% do total. A seguir são comparados os valores observados x simulados para a rede calibrada.

Tabela 4.1 - Volumes observados x simulados (s)

DATA COLLECTION	CONTAGEM CET (MOVIMENTOS)	AUTO	AUTO (S)	BUS	BUS (S)	MOTO	MOTO(S)	TOTAL	TOTAL(S)
13	BC (1+3)	2.402	2.150	194	145	591	503	3.204	2.798
17	BC (1+7)	2.431	2.199	214	145	569	521	3.242	2.865
31	BC (2+4)	2.935	2.449	168	141	649	576	3.772	3.166
21	CB (3+5+6)	2.514	2.079	227	148	394	401	3.179	2.628
9	CB (4+5)	2.926	2.262	233	146	530	444	3.724	2.852
25	CB (1+2)	1.007	677	3	-	119	140	1.141	817
27	CB (1+3)	3.777	2.803	205	158	718	499	4.742	3.460

Fonte: (AUTOR, 2015)

Nesta dissertação o objetivo é apenas avaliar quantitativamente se a relação entre os valores simulados e observados estão minimamente aderentes, visto que não é objetivo deste trabalho pesquisar por metodologias de calibração de redes de microsimulação.

A regressão linear pode ser aplicada para estudar o comportamento conjunto de duas variáveis quantitativas distintas, ou seja, mede o grau de associação entre as variáveis, no caso, o modelado *versus* observado. A seguinte equação descreve a relação entre as duas variáveis:

$$y = \alpha + \beta x + e \quad (2)$$

Onde:

β = coeficiente de regressão. Representa a variação de Y em função da variação da variável X

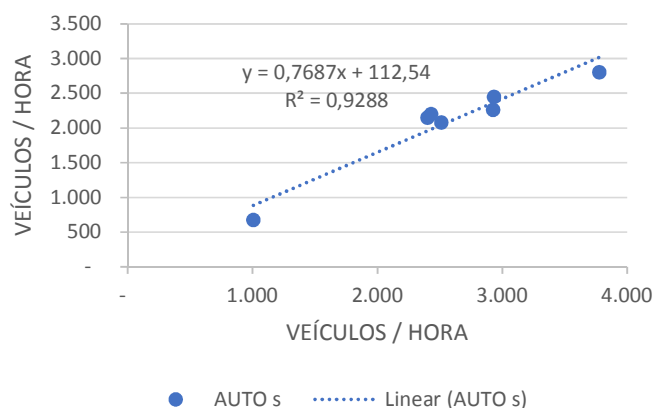
α = constante de regressão. Representa o intercepto da reta com o eixo y

e = erro associado

Para representar essa associação, foi utilizado o diagrama de dispersão. Neste diagrama são representados os valores dos pares num sistema cartesiano, onde foi observada a correlação positiva (observada pela reta próxima a 45°).

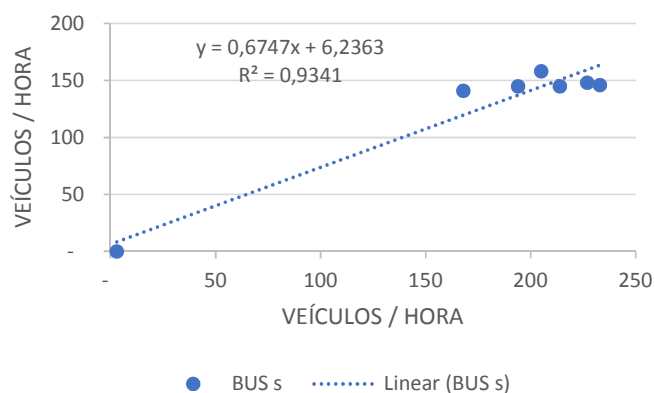
Segundo Mooi e Sarstedt (2011) o coeficiente de correlação linear (R^2) indica o grau de relacionamento linear entre as variáveis de uma amostra, quanto mais próximo de 1 maior a correlação. A seguir, desde o Gráfico 4.1 até o Gráfico 4.4, são apresentadas as respectivas retas de regressão e seus coeficientes de correlação para cada modo de transporte. De forma geral tomou-se como aceitável os coeficientes superiores a 80%.

Gráfico 4.1 – Análise de Regressão para o Modo Auto



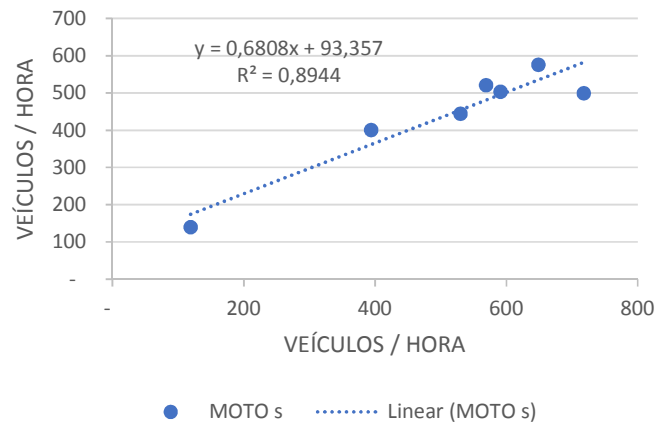
Fonte: (AUTOR, 2015)

Gráfico 4.2 - Análise de Regressão para o Modo Ônibus



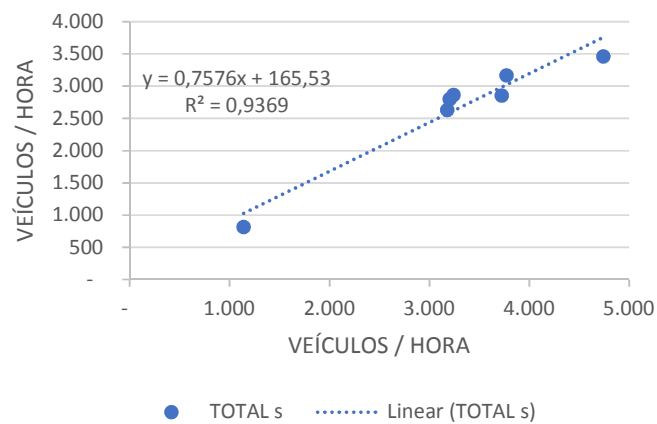
Fonte: (AUTOR, 2015)

Gráfico 4.3 - Análise de Regressão para o Modo Motos



Fonte: (AUTOR, 2015)

Gráfico 4.4 - Análise de Regressão para Todos os Modos



Fonte: (AUTOR, 2015)

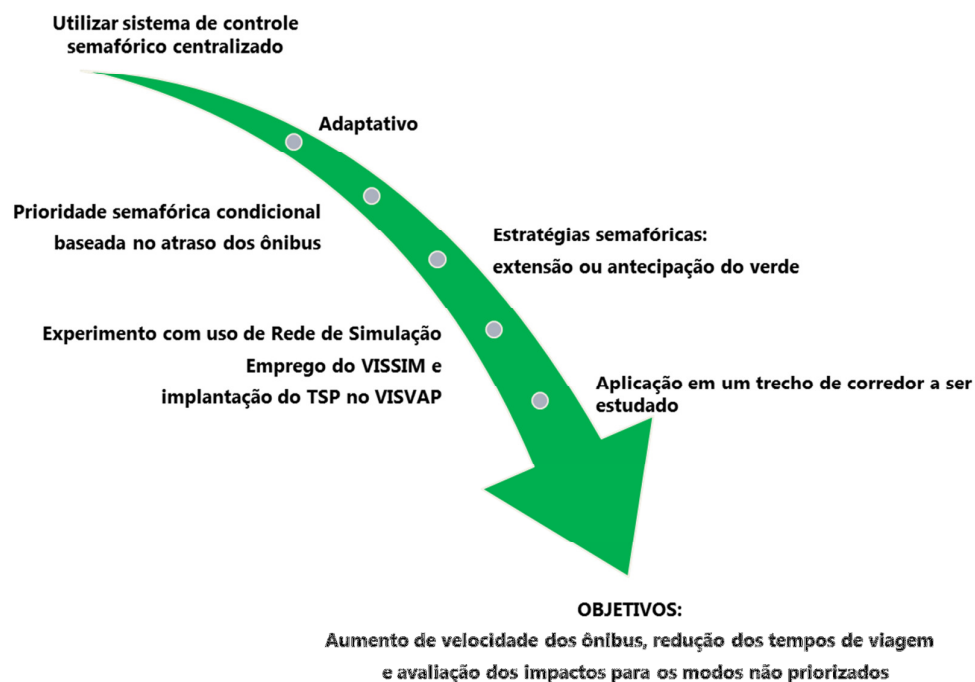
O gráfico acima demonstra que o modelo de simulação consegue explicar 93% os volumes observados pelas contagens, o que significa que o modelo de simulação (modelos comportamentais *default* do *Vissim*, exceto o modelo comportamental dos motociclistas alterado conforme explicitado anteriormente), podem ser utilizados sem maiores prejuízos às análises.

4.4 Cenários

4.4.1 Estudos de hipóteses

Antes da elaboração dos cenários foram feitos alguns testes hipotéticos com a implantação do TSP numa única interseção, considerando sempre a condição de atraso do veículo como fator para o TSP atuar. O TSP interpreta o atraso como o intervalo maior do que o *headway* planejado para este serviço. O *headway* é caracterizado pelo tempo de passagem dos veículos de uma mesma linha nos sensores instalados na via. Estes testes serviram para verificar o comportamento da rede calibrada sob a implantação da prioridade condicional. Na figura a seguir estão resumidos os principais conceitos que serão aplicados sobre a rede de simulação.

Figura 4-13 – Hipótese considerada (resumo)



Fonte: (AUTOR, 2015)

4.4.1.1 Hipótese 1

Nesta hipótese, o TSP foi implantado diretamente sobre a rede calibrada, sob uma única condicionante, o atraso conforme descrito anteriormente.

Foi constatado durante a simulação, que os controladores semaforicos passaram a operar de forma desregulada, ocasionando um colapso na rede de simulação. Portanto, foi considerada relevante a necessidade de otimizar a operação do corredor para que o TSP pudesse atuar de forma organizada.

Uma possibilidade para evitar esse colapso, seria incluir na programação do VISVAP uma nova condição de configuração de atraso como utilizado por Gardner et al. (2009), citado anteriormente no item 2.2.7. No entanto, para tal seria necessário reescrever a lógica de programação do VISVAP, submetendo a rede de simulação à essa nova programação, ou seja fazendo uma análise de sensibilidade para verificar se essa lógica teria efeito sobre a rede. Isso extrapolaria os objetivos desta dissertação.

A prática em estudos de transportes recomenda que, antes de implantar um novo sistema, seja um novo corredor ou uma faixa exclusiva, seja elaborado um estudo de reorganização dos serviços. Nestes estudos, o principal objetivo é otimizar o sistema afetado. Como a reorganização dos serviços que operam no corredor não é escopo deste trabalho e foi constatado que o TSP não poderia atuar sobre o volume de 306 ônibus/hora (em ambos os sentidos), foi necessário reduzir a atuação do TSP, conforme discutido a seguir.

4.4.1.2 Hipótese 2

A estratégia pensada para a segunda hipótese considera a aplicação do TSP para um conjunto reduzido de linhas. Com essa medida seria possível manter a oferta atual do corredor e reduzir a demanda por solicitação de prioridade de linhas pouco representativas, tais como as linhas alimentadoras ou linhas que utilizam o corredor de passagem.

Foi verificado que estes serviços anteriormente citados operam, em grande parte, com *headways* superiores a 600 segundos. Sendo assim, estas linhas não seriam mais diretamente priorizadas, (apesar de alocadas na rede) e o TSP atuaria agora, sobre uma frequência de 265 ônibus/hora (em ambos os sentidos), ou seja, 41

ônibus/hora a menos que na hipótese anterior. A simulação sobre esta condição foi satisfatória e permitiu progredir para elaboração dos cenários.

4.4.2 *Rede de Referência*

A rede de referência é a rede calibrada, ou seja, a situação no qual os volumes simulados representam 93% dos volumes observados.

Os tempos médios de viagem, contabilizados entre a avenida Paulista e a rua Caio Prado, se mostraram adequados quando comparados com os dados observados que constam no Relatório de Desempenho do sistema viário principal - Volume e Velocidade, da CET/SP, 2012 (e parcialmente apresentados no Anexo A) e com os dados do Sistema de Monitoramento Integrado - SIM da SPTRANS. A Tabela 4.2 apresenta uma comparação feita para os modos auto e ônibus.

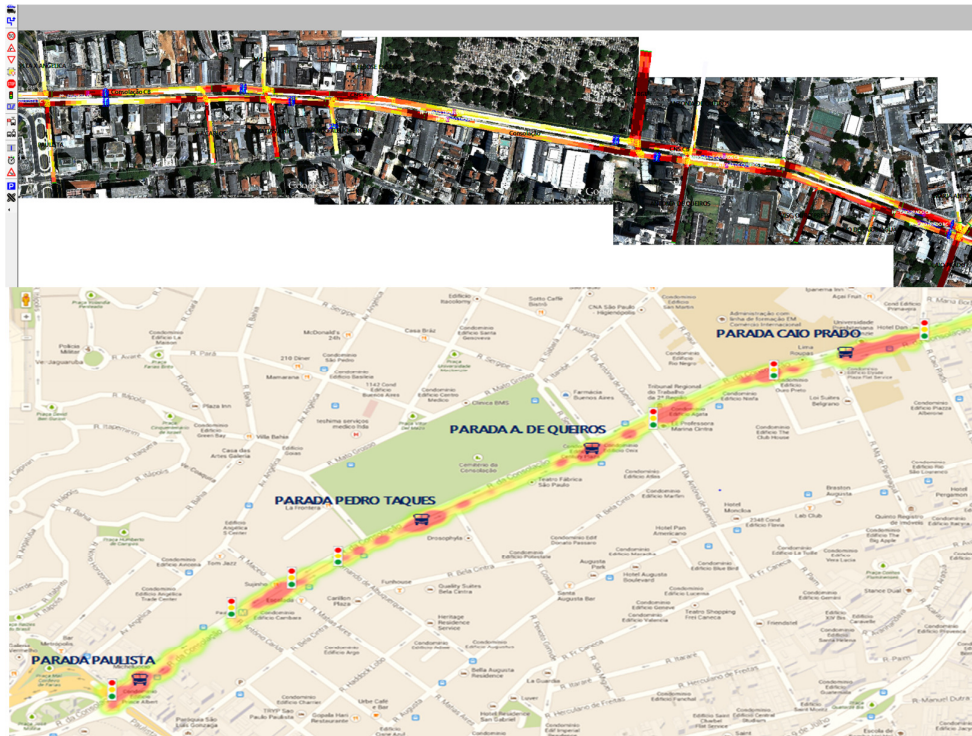
Tabela 4.2 - Comparativo entre os tempos médios de viagem, por sentido, para os modos auto e ônibus, no trecho simulado

	Modo Auto			Modo Ônibus		
	Rede Referência	Observado CET/SP	Dif.%	Rede Referência	Observado SPTRANS	Dif.%
Centro - Bairro	00:06:51	00:06:07	12%	0:09:42	0:08:41	11%
Bairro - Centro	00:06:39	00:05:43	16%	0:10:25	0:09:05	13%

Fonte: (AUTOR, 2015)

Por fim, foi elaborada uma análise visual dos tempos de atraso. O VISSIM produz uma simulação temática dos pontos nos quais os veículos da rede sofrem mais atrasos. Foi constatado que, visualmente, os locais onde ocorreram os maiores atrasos identificados pelo SIM são coincidentes com os locais simulados pelo VISSIM. Essa comparação pode ser observada na Figura 4-14, onde o vermelho mais forte indica os maiores atrasos.

Figura 4-14 - Comparação: Localização dos Atrasos



Fonte: (AUTOR, 2015)

Com a rede de referência consolidada, foram estabelecidos os cenários de simulação, nos quais o TSP foi aplicado em quatro interseções distintas. As quais são descritas a seguir.

4.4.3 Cenários de avaliação

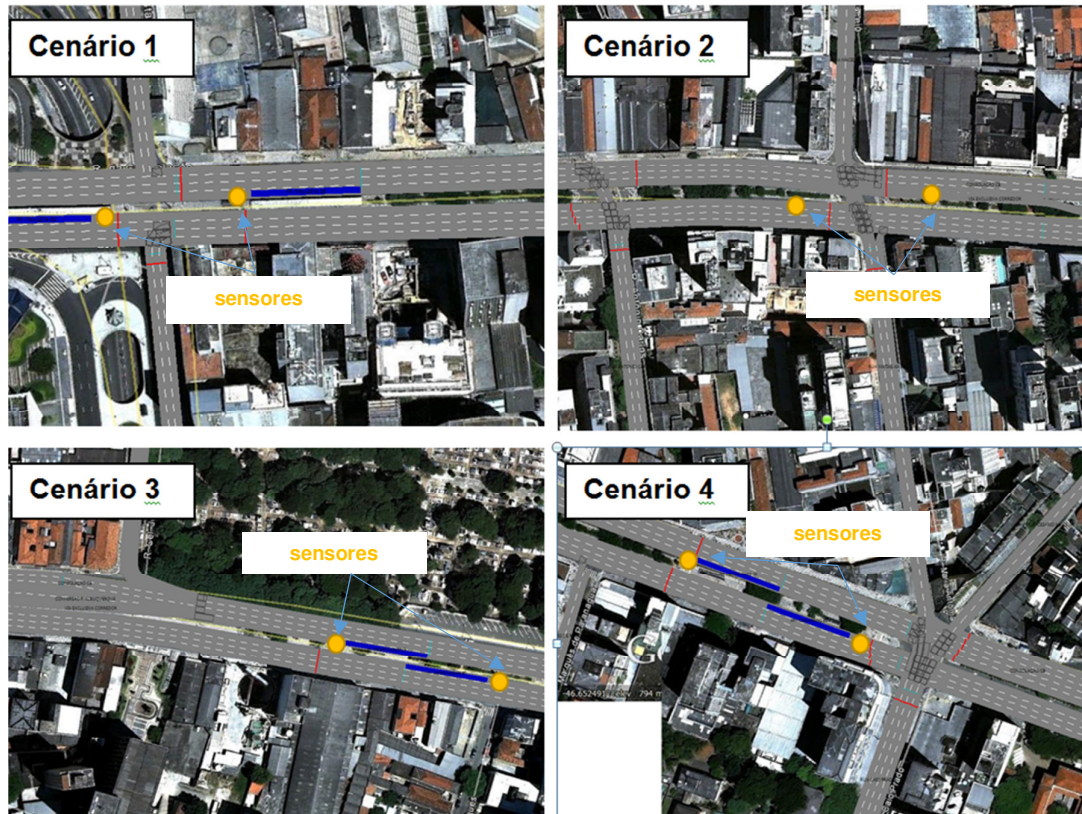
Segundo Fellendorf e Vortisch (2010), a avaliação das estratégias de prioridade envolve a comparação de cenários com base em critérios de avaliação.

Em cada cenário, os sensores que detectam os ônibus foram posicionados em interseções diferentes. Portanto, é apenas a localização deles que os diferenciam.

- Cenário 1: Cruzamento entre avenida Paulista e rua da Consolação;
- Cenário 2: Cruzamento entre as ruas Matias Aires e Consolação;
- Cenário 3: Cruzamento entre as ruas Fernando Albuquerque e Sergipe;
- Cenário 4: Cruzamento entre as ruas Marques de Paranaguá e Caio Prado;

A figura a seguir identifica para cada cenário, a interseção na qual os sensores, marcados em amarelo foram posicionados. Os resultados serão discutidos no próximo capítulo.

Figura 4-15 – Localização dos Sensores nos respectivos cenários



Fonte: (AUTOR, 2015)

Para elaboração de uma base comparativa entre os cenários deste trabalho, foram fixadas as seguintes premissas:

- prioridade semafórica condicional baseada no atraso;
- sensores posicionados próximos aos pontos de maior retardamento (interseções ou pontos de parada), identificados na figura acima;
- prioridade apenas para as linhas com *headway* inferior a 600 segundos;
- estratégia de prioridade semafórica: Extensão de verde.

As variáveis de controle possibilitam avaliar as alternativas, são inclusive as citadas por Neto (2004):

- tempo de viagem do ônibus e do automóvel ao longo do trecho simulado;
- tempos médios nas interseções;
- tempo de viagem entre os pontos de parada do trecho simulado;

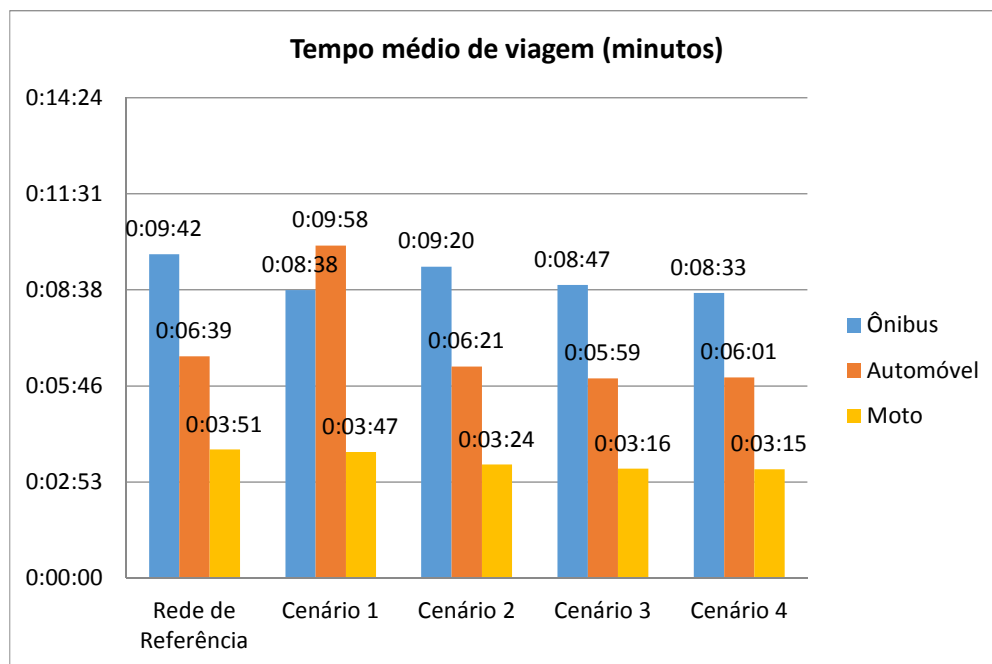
Na elaboração dos cenários não houve a pretensão de se escolher, dentre eles, o mais indicado para o TSP. A escolha de um cenário envolveria outras variáveis de controle, por exemplo custos operacionais e ganhos ambientais, que não foram objeto dessa dissertação.

Portanto, os resultados das simulações apresentados no capítulo seguinte, visam ilustrar a variação dos tempos médios de viagem e as velocidades médias - obtidas ao longo dos dois quilômetros de extensão do trecho simulado. Os resultados estão apresentados para os modos automóvel, ônibus e motos, nos dois sentidos de circulação. Paralelamente, foram obtidas as variações dos tempos médios gastos nas interseções, como forma de avaliar, minimamente, os impactos nas vias transversais do corredor.

5 RESULTADOS

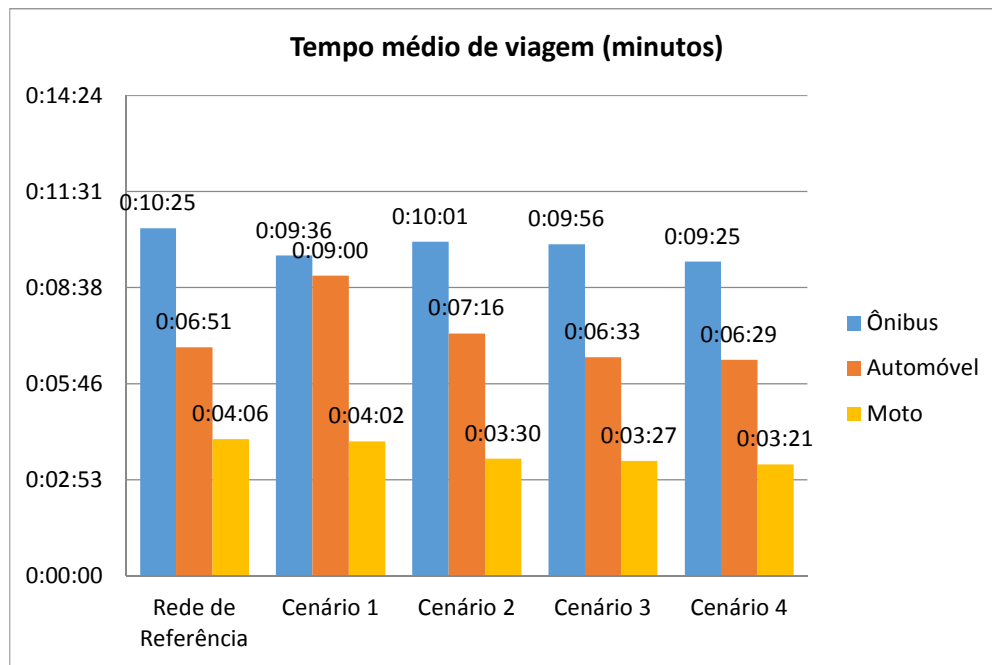
Os resultados das variáveis tempo e velocidade evidenciaram que, em relação à rede referencial, houve redução dos tempos médios de viagem em todos os cenários para o modo ônibus, conforme esperado. Para os modos automóvel e motos, também foram registradas reduções dos tempos de viagem, isso porque a extensão da fase verde acaba beneficiando indiretamente estes modos. Os Gráficos 5.1 e 5.2 apresentam a comparação entre os tempos médios de viagem praticados pelos modos avaliados, em cada cenário simulado e por sentido de circulação, exclusivamente no trecho compreendido entre a av. Paulista e a rua Caio Prado.

Gráfico 5.1- Comparação entre os tempos médios de viagem praticados pelos modos nos respectivos cenários (Bairro-Centro)



Fonte: (AUTOR, 2015)

Gráfico 5.2- Comparação entre os tempos médios de viagem praticados pelos modos nos respectivos cenários (Centro – Bairro)



Fonte: (AUTOR, 2015)

De uma forma geral, os tempos simulados para o sentido centro-bairro são maiores que o sentido oposto. Este fato pode ser atribuído ao aclave da via neste sentido de circulação, que pode provocar redução do desempenho dos veículos, e que de forma indireta refletiu na simulação, pois a topografia não foi parametrizada.

Os tempos apresentados nos gráficos revelam que, como esperado, as motos não sofrem impactos em função do TSP. A flexibilidade e o comportamento de trafegar por entre os carros, mantem os tempos médios de viagem estáveis em todos os cenários simulados.

Os tempos médios de viagem para os automóveis são mais sensíveis à implantação do TSP. Os cenários 3 e 4 revelam discreta redução dos tempos, isto ocorre porque os automóveis se beneficiam indiretamente da priorização dada aos ônibus (extensão dos tempos de verde), e com isso, conseguem desenvolver melhor desempenho.

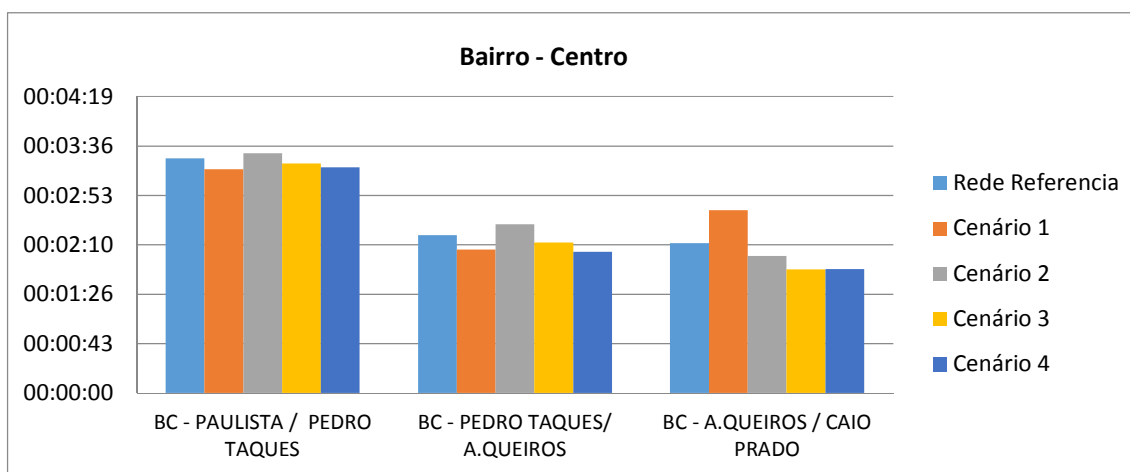
No caso dos ônibus, foi constatado, em relação à rede de referência, redução dos tempos de viagem em todos os cenários, como esperado.

Ainda quanto ao modo ônibus, foram avaliados os tempos médios entre as paradas do trecho simulado. É importante considerar que neste tipo de avaliação a distância entre os sensores, que estão posicionados junto aos pontos de parada, pode influenciar na atuação do TSP.

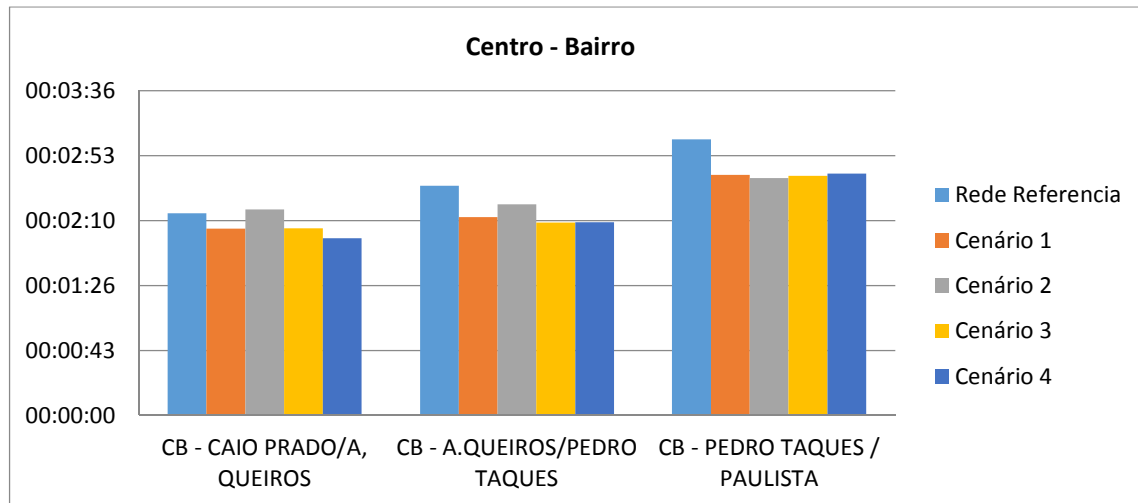
Numa situação ideal, o tempo que o ônibus leva para percorrer a distância entre o sensor (no ponto de parada) e o semáforo deve ser inferior ao tempo máximo necessário para o semáforo mudar de fase e atender a requisição de prioridade enviada pelo ônibus. Caso contrário, os controladores semafóricos iriam atuar sempre operando com o tempo mínimo de verde.

Nos cenários apresentados, este fato ocorreu como na situação ideal, pois os sensores foram posicionados considerando esses parâmetros, ou seja, de forma a não deixar que os semáforos permanecessem operando sempre no tempo mínimo. O Gráfico 5.3 apresenta os tempos médios entre as paradas por sentido de circulação.

Gráfico 5.3 - Tempo médio entre paradas – (minutos)



Fonte: (AUTOR, 2015)

Gráfico 5.4- Tempo médio entre paradas –(minutos)

Fonte: (AUTOR, 2015)

Embora não seja objetivo identificar um cenário mais favorável, o cenário 1, cuja prioridade se dá na interseção com a av. Paulista, apresentou redução dos tempos de viagem em todos os pontos de parada, exceto no trecho compreendido entre as paradas Antônia de Queiros e Caio Prado no sentido bairro-centro. Por outro lado, este cenário é o que menos impactou nas vias transversais do corredor, conforme pode ser observado na Tabela 5.1.

O tempo médio gasto nas interseções foi contabilizado sem distinção de modos, pois não há segregação ou exclusividade de passagem, de forma que o impacto é sentido uniformemente por todos os modos.

A análise dos tempos médios indica que, com a adoção do TSP, estes foram reduzidos se comparados com a rede referencial em todas as vias transversais. Este fato pode ser atribuído a melhora do fluxo na via priorizada e, sobretudo à redução de formação de filas próximo às interseções. Com isso, as vias transversais conseguem escoar melhor o fluxo e conseqüentemente reduzir os atrasos.

Portanto, para este caso estudado, o TSP foi capaz de melhorar o desempenho dos autos e ônibus na via diretamente priorizada e também em suas interseções, mostrando-se efetivo para a reordenação do fluxo na área estudada.

Tabela 5.1 - Tempo médio gasto nas interseções – (minutos)

TRECHO	REFERENCIAL	CENÁRIO 1	CENÁRIO 2	CENÁRIO 3	CENÁRIO 4	MÉDIA
Av. Paulista	07:38	04:42	07:12	06:31	06:28	06:30
Rua Antônio Carlos	00:57	00:44	00:44	00:46	00:42	00:47
Rua Matias Aires	01:30	01:15	00:58	00:53	00:53	01:06
Rua Antônia de Queiros	04:15	03:26	02:45	02:51	02:54	03:14
Rua Visconde de Ouro Preto	02:58	02:47	00:00	02:51	03:02	02:20
Rua Caio Prado	04:52	02:51	02:17	02:25	02:25	02:58
Rua Sergipe - sentido Bairro	05:15	02:42	05:52	05:46	05:52	05:05
Rua Sergipe - sentido Centro	01:09	01:08	00:52	00:48	00:51	00:58
Tempo Total Médio por Cenário	28:33	19:38	20:38	22:51	23:06	0:22:57

Fonte: (AUTOR, 2015)

Uma análise resumida pode ser feita a partir da interpretação da Tabela 5.2, que apresenta para os modos analisados, as velocidades desempenhadas em cada cenário estudado. Assim como nos tempos médios, o modo ônibus se beneficiou diretamente do TSP, com o aumento de velocidade média de 1.5 km/h. No entanto, devido ao alto volume de veículos que trafegam pelo corredor priorizado, o maior ganho foi registrado para o automóvel, com aumento da velocidade média de 35 km/h para 37,5 km/h. As motos não refletem ganhos expressivos.

Tabela 5.2 - Comparativo entre as velocidades médias km/h

CENÁRIOS	ÔNIBUS	AUTO	MOTO
Referência	20,7	35,0	49,0
Cenário 1	22,5	32,5	47,3
Cenário 2	22,6	39,7	50,9
Cenário 3	22,5	40,0	50,2
Cenário 4	22,6	40,2	51,2
MÉDIA GERAL	22,2	37,5	49,7

Fonte: (AUTOR, 2015)

Por fim, são apresentados os ganhos de tempo totais em termos percentuais. A Tabela 5.3 apresenta o Cenário 1 como o mais impactante para o automóvel, com acréscimo de até 50% do tempo médio de viagem no sentido Bairro-Centro, considerando apenas a via priorizada. O Cenário 4 é o que mais beneficiou os modos analisados, no sentido Bairro-Centro, os ônibus tiveram uma redução dos tempos de viagem de -12, e no sentido oposto -10%. Os valores negativos que constam na tabela representam a redução dos tempos de viagem.

Tabela 5.3 - Redução dos tempos médios de viagem

Rede	Automóvel	Moto	Ônibus
Sentido Bairro - Centro			
Cenário 1	50%	-2%	-11%
Cenário 2	-5%	-12%	-4%
Cenário 3	-10%	-15%	-10%
Cenário 4	-9%	-15%	-12%
Sentido Centro - Bairro			
Cenário 1	31%	-2%	-8%
Cenário 2	6%	-14%	-4%
Cenário 3	-4%	-16%	-5%
Cenário 4	-5%	-18%	-10%

Fonte: (AUTOR, 2015)

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Relembrando o objetivo central desta dissertação, ou seja, o de investigar o eventual aumento da velocidade e redução dos tempos de viagem do transporte coletivo, proporcionado pela aplicação de ferramentas ITS, especificamente o *Transit Signal Priority* (TSP), entende-se que ele foi alcançado.

No caso apresentado, embora num trecho pequeno de aproximadamente dois quilômetros, foi possível identificar a melhoria dos tempos de viagem não apenas nos ônibus, mas também dos automóveis, que se valeram da extensão dos tempos de verde e reduziram, em alguns casos, seus tempos médios de viagem.

Especificamente no Cenário 4 houve uma redução nos tempos de viagem dos ônibus entre 10 e 12% no trecho simulado.

Além disso, a simulação mostrou que quando da aplicação do TSP, este pode não só melhorar os tempos de viagem dos automóveis na via principal, mas também pôde reduzir os tempos de espera (atrasos) nas transversais para todo os modos, corroborando a recomendação de Furth e Muller (2002) quanto à especial atenção que deve ser dada às interseções não priorizadas. A melhoria das condições de fluxo na via priorizada reduz a formação de filas em suas interseções, e aumenta a capacidade de absorver o tráfego proveniente das vias não priorizadas.

Acompanhando a redução dos tempos médios de viagem, foi constatado, através da simulação, que houve o incremento na velocidade média dos ônibus e maior ainda para os automóveis, já que estes, diferentemente dos ônibus, não precisam parar nos pontos de parada.

Quanto às recomendações, no decorrer do trabalho algumas dificuldades foram encontradas, as quais são interessantes de se compartilhar. A mais importante delas é a necessidade de, antes de implantar uma tecnologia como a apresentada nesta pesquisa, considerar um projeto de racionalização do sistema, que contemple, inclusive, um eventual reordenamento da circulação do entorno e a reprogramação horária dos serviços de transporte coletivo. Este tipo de medida torna o TSP mais eficaz e minimiza os impactos sobre os outros modos.

Embora o *Vissim* seja uma ferramenta muito útil é importante ter grande familiaridade com o *software*. De outra forma, seria necessário demandar muito estudo sobre seus modelos comportamentais e módulos externos como o VISVAP, utilizados nesta pesquisa.

Deve ser considerado também que, antes de implantar uma tecnologia de prioridade semafórica, é preciso amadurecê-la, criando padrões, diretrizes de implantação e operação, assim como definir critérios de avaliação desses projetos. Em países Europeus, essa técnica é muito difundida.

Como continuidade deste trabalho sugere-se que sejam investigadas.

A atuação do TSP condicional, incluindo nas análises não somente os impactos nas vias não priorizadas, mas os eventuais impactos que poderão ser gerados aos pedestres e ciclistas.

Empregar um fator de atraso mínimo, como os trinta segundos sugerido por Gardner et al. (2009). Acredita-se que este tipo de estratégia adotada em Portland, poderia ser desenvolvida para um caso brasileiro, ou ser proposto um novo fator, que melhor se adeque as características do transporte público no país.

Uma importante contribuição seria dada se os tempos obtidos nas simulações fossem calculados de forma a representar o custo do tempo ganho para os modos priorizados. Esta contribuição seria útil em estudos de viabilidade para a implantação de ITS em novos projetos de corredores de ônibus.

Os ganhos ambientais com a aplicação do TSP e a redução dos custos operacionais do sistema de transporte, também podem ser investigados, uma vez que com a priorização, os veículos tendem a manter o desempenho constante por mais tempo, resultado em baixo consumo de combustível, menores emissões de poluentes e inclusive ruídos.

Por fim, o TSP tem grande potencial de proporcionar viagens mais rápidas e regulares. Avaliar o potencial de atrair novos usuários para o sistema (atratividade do sistema priorizado) pode ser mais uma recomendação a ser investigada.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Sistemas inteligentes de transportes – Arquitetura(s) de modelo de referência para o setor de ITS – Parte 1: Domínios de serviço, grupos de serviço e serviços de ITS**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]. 2010.

ALBORNOZ, M. A. P. **Contribuição para um estudo integrado do gerenciamento de tráfego e transporte: Uma visão sistêmica**. COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2005.

ALEMÁN, A. M. **Simulation of Transit Signal Priority Strategies for BRT Operations**. Massachusetts Institute of Technology. [S.l.]. 2013.

ALMEIDA JÚNIOR, A. D. **Método de coordenação semaforica para corredores de transporte coletivo**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, p. 217. 2007.

APTA BUS STANDARDS PROGRAM AND BUS RAPID TRANSIT WORKING GROUP. **Implementing BRT Intelligent Transportation Systems**. Washington, DC. 2010.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS (NTU). **Anuário NTU 2010/2011**. [S.l.]: [s.n.], 2011.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES PÚBLICOS. **Pesquisa de Imagem - 2012 - Quantitativa**. Associação Nacional dos Transportes Públicos. São Paulo. 2012.

AYALA, R. J. L. **Procedimento Para Identificação dos Principais Parâmetros dos Microsimuladores A Serem Considerados No Processo de Calibração**. Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília. 2013.

BERGSTAD, C. J. et al. Affective-symbolic and instrumental-independence psychological motives mediating effects of socio-demographic variables on daily car use. **Elsevier. Journal of Transport Geography**, april 2009.

CET/SP. **Projeto Brigadeiro: Faixa exclusiva de ônibus no contra-fluxo.** Prefeitura do Município de São Paulo. São Paulo. 1980.

CET/SP. **Desempenho do Sistema Viário Principal - DSVP. Contagem Volumétrica Classificada.** Companhia de Engenharia de Tráfego. São Paulo. 2012.

CUNTO, F. J. C.; LOUREIRO, F. G. **O uso da microsimulação na avaliação do desempenho da segurança viária.** Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia de Transportes. Fortaleza, p. 19. 2011.

DALE, J.; BAUER, T.; WON, J. **Transit Signal Priority and the Traffic Signal Controller: Partners in BRT Success!** [S.l.]. 2009.

DESHPANDE, V. **Evaluating the Impacts of Transit Signal Priority Strategies on Traffic Flow Characteristics: Case Study along U.S.1, Fairfax County, Virginia.** Virginia Polytechnic Institute and State University. Falls Church. 2003.

DNIT. **Produto I - Relatório de Análise e Concepção. Projeto Trienal de coleta de Tráfego.** Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes - DNIT / Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. [S.l.]. 2008.

DURÃES, A. D. A. J. **Método de Coordenação Semafórica Para Corredores De Transporte Coletivo.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2007.

EKEILA, W.; SAYED, T.; ESAWEY, M. E. **Development of dynamic transit signal priority strategy.** Transportation Research Record: Journal of the transportation research board. Washington D.C, USA. 2009.

ERIKSSON, L. **Car Users' Switching to Public Transport for the Work Commute.** Faculty of Economic Sciences, Communication and IT Psychology - Karlstad University Studies. Karlstad. 2011.

FELLENDORF, M.; VORTISCH, P. Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM. In: BARCELÓ, J. **Fundamentals of Traffic Simulation.** [S.l.]: [s.n.], 2010. Cap. 2.

FERREIRA, E. A. **Um método de utilização de dados de pesquisa de embarque/desembarque na calibração de modelos de distribuição do tipo gravitacional.** Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Transportes. São Carlos, p. 130. 1999.

FERRONATTO, L. G. **Potencial de Medidas de Gerenciamento de Demanda no Transporte Público Urbano por Ônibus.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2002.

FETRANSPOR. **Manual de implementação BRS.** FETRANSPOR. Rio de Janeiro. 2013.

FOURSQUARE INTEGRATED TRANSPORTATION PLANNING; NATIONAL BUS RAPID TRANSIT INSTITUTE. **Bus Priority Treatment Guidelines.** National Capital Region Transportation Planning Board; Metropolitan Washington Council of Governments. Washington, DC. 2011.

FURTH, P. G.; MULLER, T. H. J. **Transportation Research Record 1731 - Conditional Bus Priority at Signalized Intersections.** [S.l.], p. 23-30. (00-0873).

GARDNER, K. et al. **Review of Bus Priority at Traffic Signals around the World.** UITP Working Group. [S.l.]. 2009.

GOMES, G. Z. **Uso de Microsimulação na Avaliação da Sustentabilidade de Corredores Rodoviários.** Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2004.

ITS AMERICA. **Transit Signal Priority (TSP) - Handbook.** ITS America. Washington, USA. 2005.

KIM, S.; PARK, M.; CHON, K. S. Bus Signal Priority Strategies for Multi-directional Bus Routes. **KSCE Journal of Civil Engineering**, 2011.

KOEHLER, L. A. **Controle Integrado de Prioridade e Retenção para Operação de Sistemas de Transporte Público.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2009.

KOONCE, P. **Conditional Transit Signal Priority Applications**. Kittleson & Associates, Inc. San Antonio, USA. 2009.

LI, M. et al. **Modeling an Implementation of Adaptive Transit Signal Priority on Actuated Control Systems**. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. California PATH Program, University of California at Berkeley, USA. Berkeley, USA. 2011.

MEDEIROS, A. L. **Aplicabilidade de algoritmos genéticos para calibração de redes viárias urbanas microssimuladas**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. Fortaleza, p. 90. 2012.

MOOI, E.; SARSTEDT, M. **A Concise Guide to Market Research**. Amsterdam, Netherlands: Springer, 2011.

NETO, F. M. D. O. **Priorização do Transporte Coletivo Por Ônibus Em Sistemas Centralizados De Controle De Tráfego**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2004.

NTU. **Desempenho e qualidade nos sistemas de ônibus Urbanos**. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. [S.l.]. 2008.

NTU. **Anuário NTU 2010/2011**. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. [S.l.]. 2011.

OORT, N. V. **Service Reliability and Urban Public Transport Design**. [S.l.]. 2011.

PTV GROUP. **VAP 2.16 Uer Manual**. PTV Planung Transport Verkehr. Karlsruhe, Germany. 2012.

REDMAN, L. et al. Quality attributes of public transport that attract car users: A research review. **Elsevier**, 20 dez. 2012.

SILVA, D. M. D. **Sistemas Inteligentes no Transporte Público Coletivo por Ônibus**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2000.

SILVA, P. C. M.; TYLER, N. **Sobre a validação de modelos microscópicos de simulação de tráfego**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 16. 2001.

SILVA, T. C. C. E.; SORRATINI, J. A. **O Uso da Microsimulação para Avaliar Indicadores de Confiabilidade do Transporte Coletivo Urbano em Corredores Estruturais de Ônibus**. Lisbon. 2010.

SPTRANS. **Sistemas informatizados para a gestão do transporte coletivo do município de São Paulo**. SPTRANS - São Paulo Transporte S/A. São Paulo. 2009.

SPTRANS. **Infraestrutura para a mobilidade urbana de São Paulo**. SMT - SECRETARIA MUNICIPAL DE TRANSPORTES. SÃO PAULO. 2012.

USDOT / FTA. **Transit Signal Priority Research Tools**. U.S. Department of Transportation. Washington D. C. 2008.

WAHLSTEDT, J. Impacts of Bus Priority in Coordinated Traffic Signals. **Elsevier**, abr. 2011. 578-588.

WHATELY, I. M. O Papel dos Ônibus nos Transportes Públicos de São Paulo. **Revista Técnica da São Paulo Transporte S.A.**, São Paulo, v. I, n. 1, Dezembro 2012.

WORCESTERSHIRE. **Bus Priority Measures - Best Practice Report**. Worcestershire County Council. Worcester, U.K. 2007.

XU, H.; SUN, J.; ZHENG, M. **Comparative Analysis of Unconditional and Conditional Priority for Use at Isolated Signalized Intersections**. [S.I.]. 2010

ANEXO A

Anexo A - Tabela 1 - Tempo de percurso e retardamento - Sentido Bairro - Centro

Via	Trecho (i)	Trecho (j)	Dist (m)	Manhã										Tarde													
				Vel. Média (km/h)				Tempo Médio (mm:ss)				Retard. (%)				Vel. Média (km/h)				Tempo Médio (mm:ss)				Retard. (%)			
				Geral	Viagem			Geral	S/Ret	C	F	O	T	Geral	Viagem			Geral	S/Ret	C	F	O	T				
Total da Rota			1900	26,0	26,8	29,5	24,7	01:08	00:56	-	15,8	-	15,8	20,7	24,4	19,6	21,5	01:36	01:13	11,0	11,8	-	22,8				
Rua da Consolação	Av. Paulista	R. Fernando Albuquerque	500	17,5	15,9	22,9	15,4	01:43	01:09	-	33,0	-	33,0	28,1	24,2	35,3	27,1	01:04	00:53	-	17,0	-	17,0				
Rua da Consolação	R. Fernando Albuquerque	R. D. Antônia de Queiroz	650	40,7	34,2	48,8	41,8	00:57	00:57	-	-	-	-	18,4	20,7	17,7	17,1	02:07	01:36	24,0	-	-	24,0				
Rua da Consolação	R. D. Antônia de Queiroz	R. Caio Prado	500	28,9	30,0	26,7	30,3	01:02	00:54	-	13,0	-	13,0	11,2	14,3	8,6	12,4	02:40	01:59	15,0	11,0	-	26,0				
Rua da Consolação	R. Caio Prado	R. Rego Freitas	250	16,9	26,9	19,4	11,3	00:53	00:44	-	17,0	-	17,0	25,1	38,3	16,8	29,5	00:35	00:27	5,0	19,0	-	24,0				

Fonte: Adaptado de (CET/SP, 2012). (C) Congestionamento; (F) Semáforo; (O) Outros; (T) Total Retardamento.

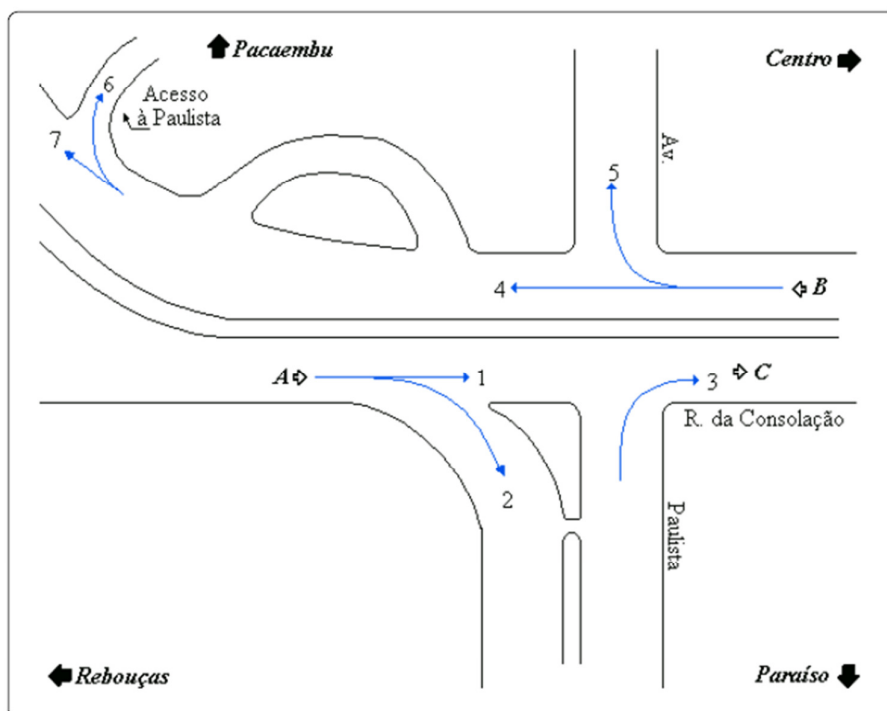
Anexo A - Tabela 2 - Tempo de percurso e retardamento - Sentido Centro - Bairro

Via	Trecho (i)	Trecho (j)	Dist (m)	Manhã										Tarde													
				Vel. Média (km/h)				Tempo Médio (mm:ss)				Retard. (%)				Vel. Média (km/h)				Tempo Médio (mm:ss)				Retard. (%)			
				Geral	Viagem			Geral	S/Ret	C	F	O	T	Geral	Viagem			Geral	S/Ret	C	F	O	T				
Total da Rota			1900	22,2	23,3	25,4	26,2	01:13	00:58	-	20,8	-	20,8	20,7	21,1	22,4	19,9	01:28	01:10	3,5	15,0	-	18,5				
Rua da Consolação	R. Rego Freitas	R. Caio Prado	250	16,4	8,9	22,8	37,5	00:55	00:35	-	35,0	-	35,0	28,1	14,4	18,6	8,9	01:02	00:45	3,0	27,0	-	30,0				
Rua da Consolação	R. Caio Prado	R. D. Antônia de Queiroz	500	23,2	34,0	20,9	19,1	01:17	01:03	-	18,0	-	18,0	18,4	27,1	27,3	27,1	01:06	01:03	5,0	-	-	5,0				
Rua da Consolação	R. D. Antônia de Queiroz	R. Fernando Albuquerque	650	28,8	29,8	34,2	24,2	01:21	01:15	-	7,0	-	7,0	11,2	30,7	34,4	32,7	01:16	01:08	-	10,0	-	10,0				
Rua da Consolação	R. Fernando Albuquerque	Av. Paulista	500	20,3	20,3	23,8	24,0	01:21	01:01	-	23,0	-	23,0	25,1	12,1	9,4	10,8	02:28	01:45	6,0	23,0	-	29,0				

Fonte: Adaptado de (CET/SP, 2012). (C) Congestionamento; (F) Semáforo; (O) Outros; (T) Total Retardamento.

ANEXO B

Anexo B - Figura 1 - Pesquisa de Contagem Volumétrica Classificada (CET/SP)



Manhã

Hora Pico do Cruzamento: 08:45-09:45

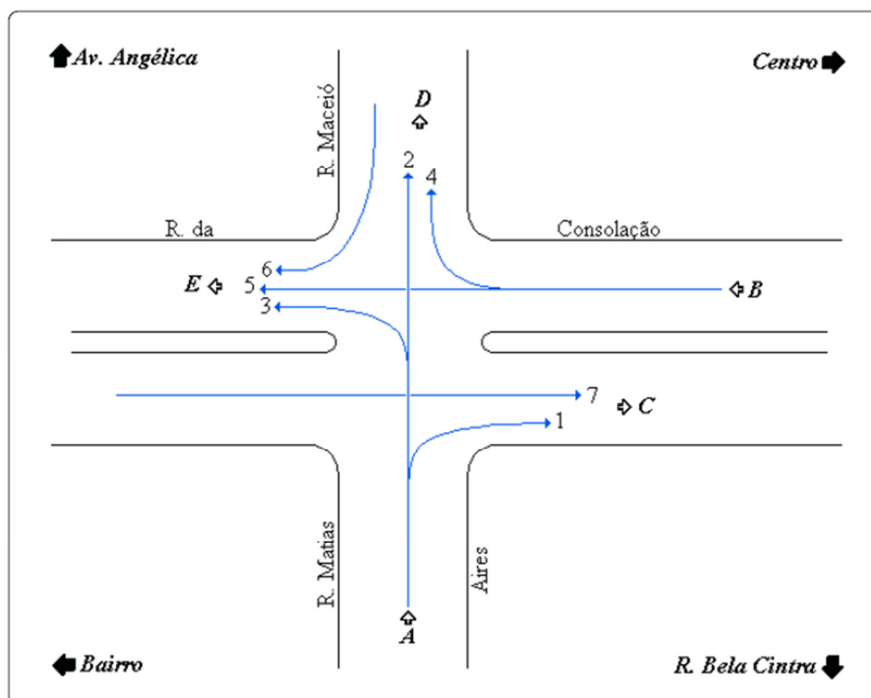
Composição	Automóvel	Ônibus	Mini/Van	Caminhão	Moto	Total	FHP
Movimento 01	2.069	175	0	16	505	2.765	
Movimento 02	1.140	68	1	7	277	1.493	
Movimento 03	333	19	0	1	86	439	
Movimento 04	2.093	147	1	15	429	2.685	
Movimento 05	833	86	0	19	101	1.039	
Movimento 06	311	30	1	2	58	402	
Movimento 07	1.782	117	0	13	371	2.283	
Cruzamento	6.468	495	2	58	1.398	8.421	91%

Tarde

Hora Pico do Cruzamento: 16:30-17:30

Composição	Automóvel	Ônibus	Mini/Van	Caminhão	Moto	Total	FHP
Movimento 01	2.444	155	0	11	716	3.326	
Movimento 02	931	60	3	1	284	1.279	
Movimento 03	329	19	0	5	153	506	
Movimento 04	2.063	126	1	19	644	2.853	
Movimento 05	1.199	63	0	18	125	1.405	
Movimento 06	302	30	1	1	83	417	
Movimento 07	1.761	96	0	18	561	2.436	
Cruzamento	6.966	423	4	54	1.922	9.369	96%

Anexo B - Figura 2 - Pesquisa de Contagem Volumétrica Classificada (CET/SP)



Manhã

Hora Pico do Cruzamento: 08:00-09:00

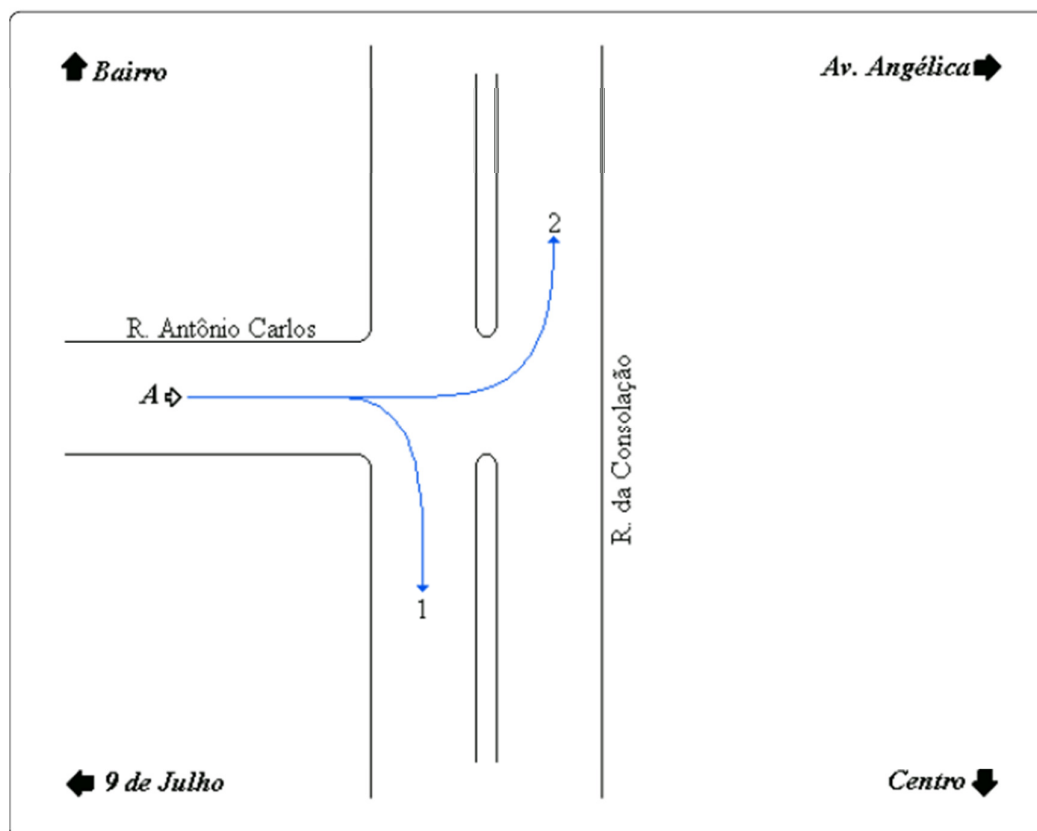
Composição	Automóvel	Ônibus	Mini/Van	Caminhão	Moto	Total	FHP
Movimento 01	101	12	0	0	13	126	
Movimento 02	593	35	0	7	63	698	
Movimento 03	1	0	0	0	0	1	
Movimento 04	69	0	0	1	12	82	
Movimento 05	2.513	227	1	25	394	3.160	
Movimento 06	4	14	0	0	0	18	
Movimento 07	2.330	202	0	28	556	3.116	
Cruzamento	5.611	490	1	61	1.038	7.201	97%

Tarde

Hora Pico do Cruzamento: 16:45-17:45

Composição	Automóvel	Ônibus	Mini/Van	Caminhão	Moto	Total	FHP
Movimento 01	124	8	0	1	44	177	
Movimento 02	727	27	0	5	116	875	
Movimento 03	11	0	0	0	6	17	
Movimento 04	72	0	0	0	10	82	
Movimento 05	2.523	214	1	14	642	3.394	
Movimento 06	5	17	0	0	6	28	
Movimento 07	2.761	175	0	17	739	3.692	
Cruzamento	6.223	441	1	37	1.563	8.265	95%

Anexo B - Figura 3 - Pesquisa de Contagem Volumétrica Classificada (CET/SP)



Manhã

Hora Pico do Cruzamento: 08:45-09:45

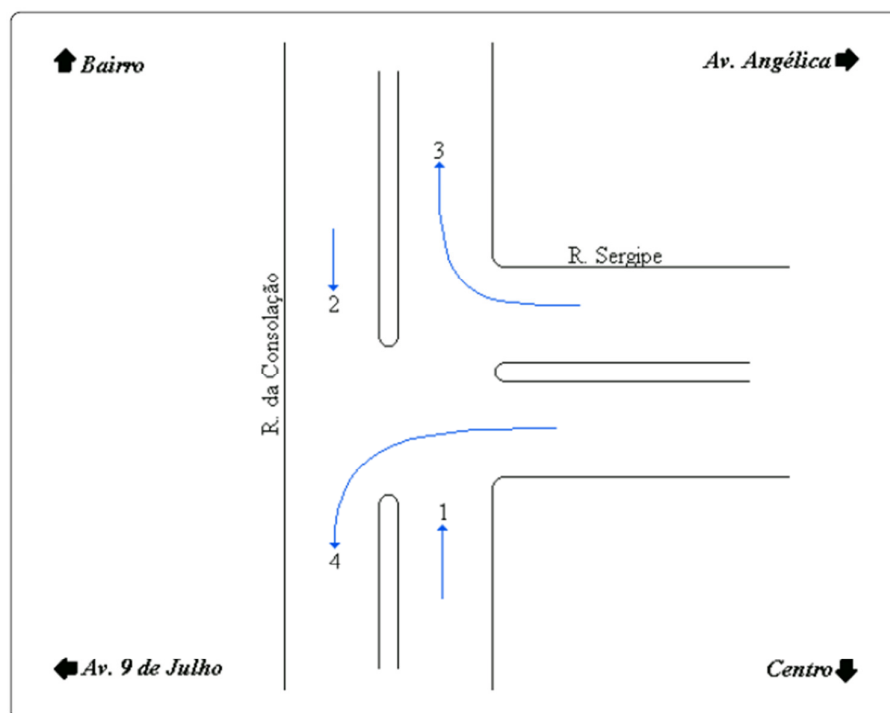
Composição	Automóvel	Ônibus	Mini/Van	Caminhão	Moto	Total	FHP
Movimento 01	59	2	0	1	6	68	
Movimento 02	401	4	1	3	37	446	
Cruzamento	460	6	1	4	43	514	95%

Tarde

Hora Pico do Cruzamento: 16:30-17:30

Composição	Automóvel	Ônibus	Mini/Van	Caminhão	Moto	Total	FHP
Movimento 01	78	1	0	2	31	112	
Movimento 02	628	5	1	11	72	717	
Cruzamento	706	6	1	13	103	829	96%

Anexo B - Figura 4 - Pesquisa de Contagem Volumétrica Classificada (CET/SP)



Manhã

Hora Pico do Cruzamento: 08:45-09:45

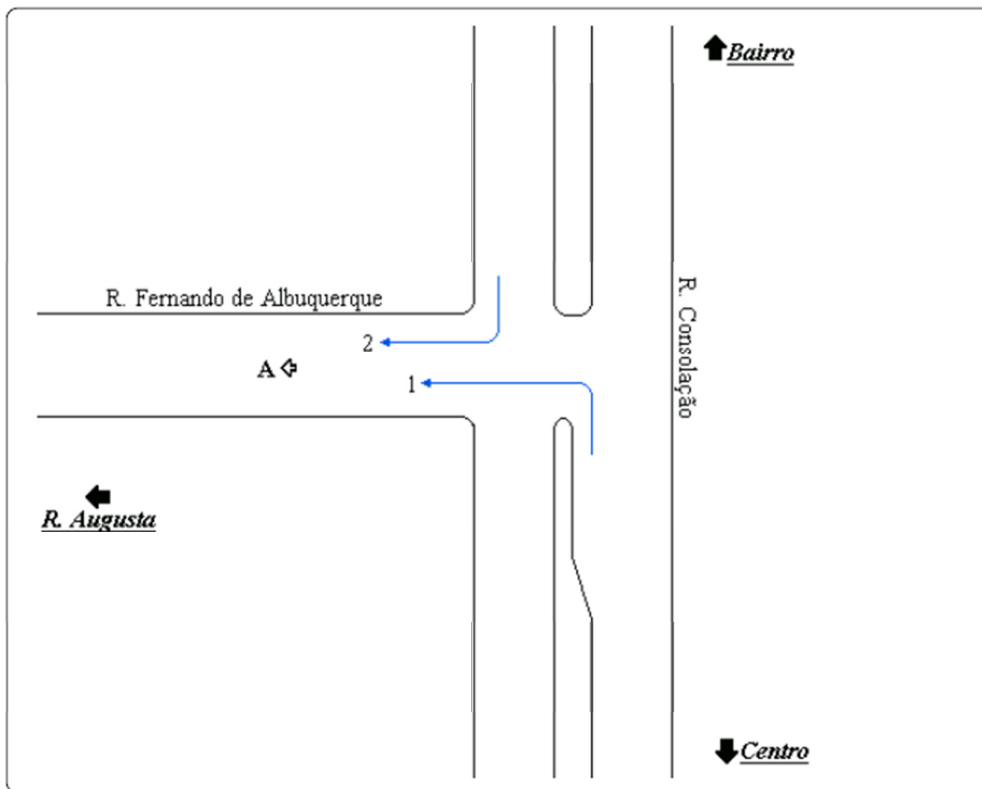
Composição	Automóvel	Ônibus	Mini/Van	Caminhão	Moto	Total	FHP
Movimento 01	2.849	205	1	30	665	3.750	
Movimento 02	2.307	168	0	19	617	3.111	
Movimento 03	928	0	1	10	53	992	
Movimento 04	628	0	0	1	32	661	
Cruzamento	6.712	373	2	60	1.367	8.514	95%

Tarde

Hora Pico do Cruzamento: 16:30-17:30

Composição	Automóvel	Ônibus	Mini/Van	Caminhão	Moto	Total	FHP
Movimento 01	2.723	200	0	35	725	3.683	
Movimento 02	2.565	168	0	28	873	3.634	
Movimento 03	798	0	0	5	73	876	
Movimento 04	626	0	0	2	54	682	
Cruzamento	6.712	368	0	70	1.725	8.875	96%

Anexo B - Figura 5- Pesquisa de Contagem Volumétrica Classificada (CET/SP)



Manhã

Hora Pico do Cruzamento: 08:45-09:45

Composição	Automóvel	Ônibus	Caminhão	Moto	Bicicleta	Total	FHP
Movimento 01	1.007	3	12	119	0	1.141	
Movimento 02	519	19	6	49	0	593	
Cruzamento	1.526	22	18	168	0	1.734	91%

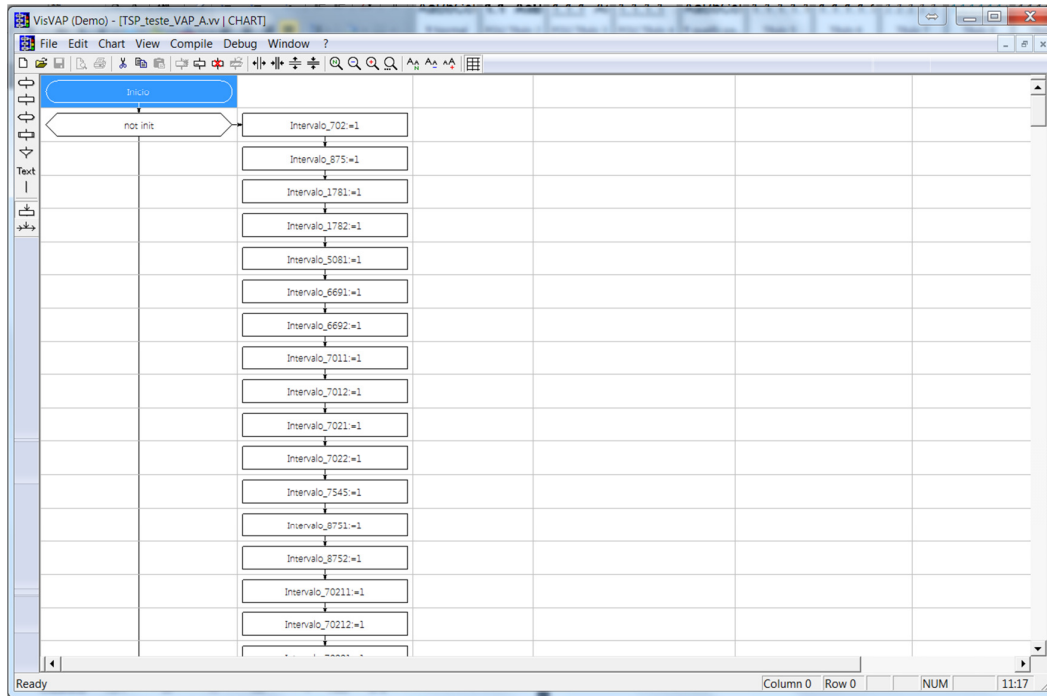
Tarde

Hora Pico do Cruzamento: 16:45-17:45

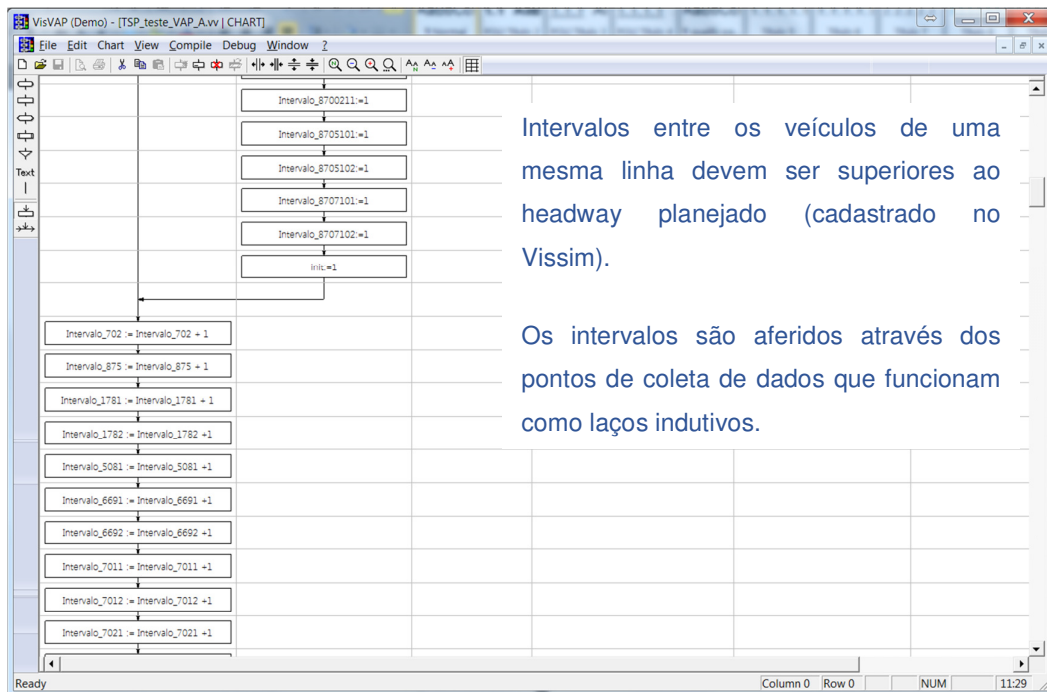
Composição	Automóvel	Ônibus	Caminhão	Moto	Bicicleta	Total	FHP
Movimento 01	787	2	6	119	1	915	
Movimento 02	484	21	5	40	0	550	
Cruzamento	1.271	23	11	159	1	1.465	97%

ANEXO C

Anexo C - Figura 1– Especificação dos intervalos



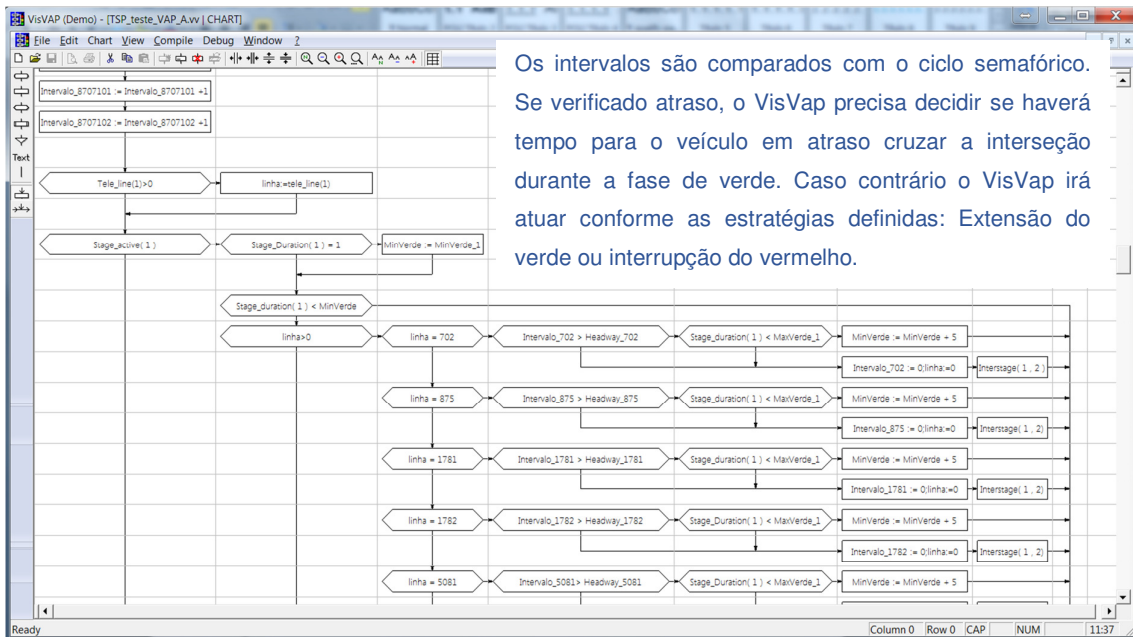
Anexo C - Figura 2– Critério adotado “intervalo maior que o headway”



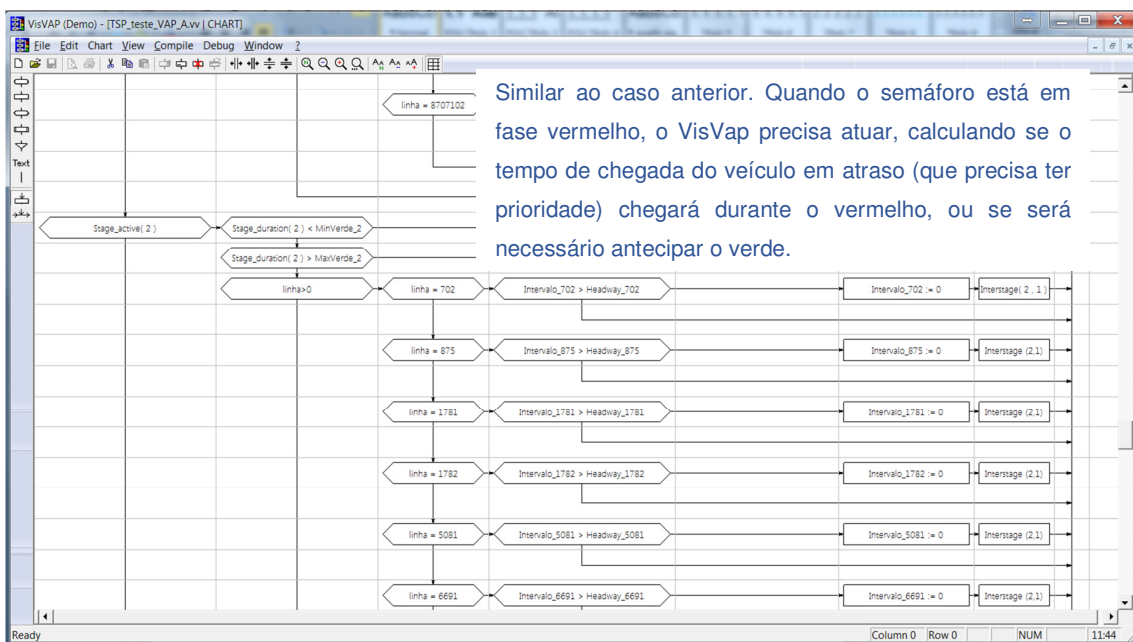
Intervalos entre os veículos de uma mesma linha devem ser superiores ao headway planejado (cadastrado no Vissim).

Os intervalos são aferidos através dos pontos de coleta de dados que funcionam como laços indutivos.

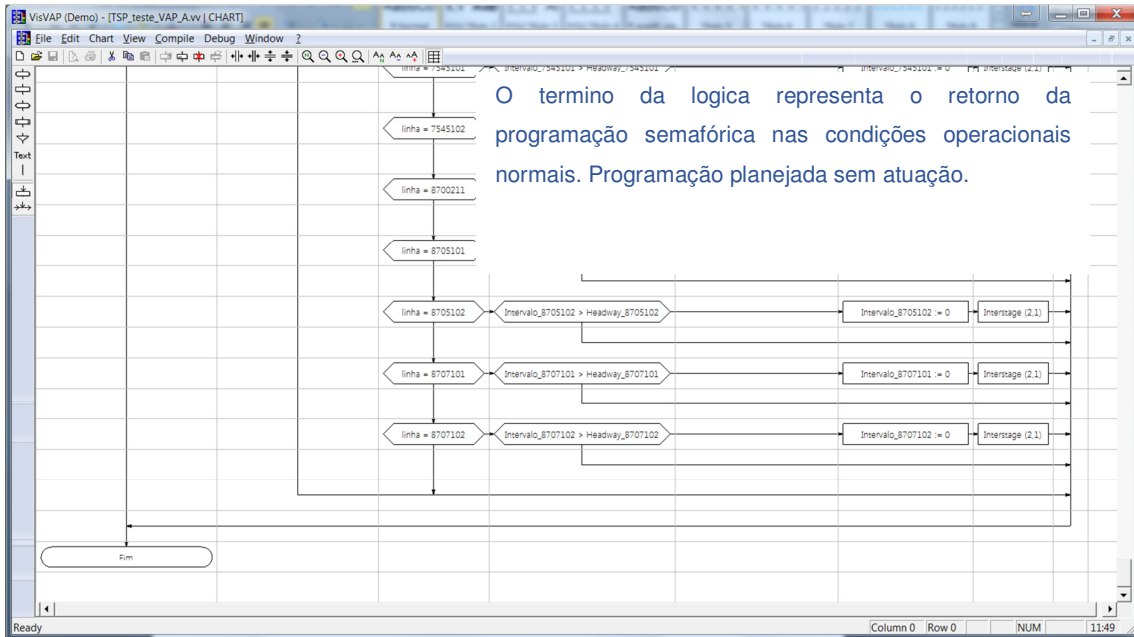
Anexo C - Figura 3 – Análise do intervalo medido para fase verde



Anexo C - Figura 4 – Análise do intervalo medido para fase vermelho



Anexo C - Figura 0-1 - Termino da lógica



APÊNDICE A

Apêndice A - Tabela 1 - Definições quanto aos termos utilizados na operação de transporte público coletivo por ônibus

Nome	Definição	Unidade/ Sigla
Extensão	Extensão da linha para cumprir o trajeto entre o Terminal Primário e o Secundário (uma viagem).	km
Frota	Conjunto de veículos de um mesmo tipo à disposição dos serviços de transporte público coletivo de uma região ou determinada linha. Uma linha pode ter mais de um tipo de veículo, por exemplo: frota de veículos Padron, frota de veículos Articulados etc.	Veículos
Frota hora-pico	Frota que entra em operação durante o horário de maior solicitação de capacidade.	Hora
Frequência	Número estipulado de viagens unidirecionais por unidade de tempo ou período fixado (veículos/hora)	Veículos/ Hora
Passageiros Transportados (média dia útil)	Somatório de passageiros transportados por todos os veículos de uma determinada linha durante um mês, dividido pela quantidade de dias uteis.	Pass. M.D.U
<i>Headway</i> ou Intervalo	Tempo decorrido entre a passagem de dois veículos sucessivos de uma mesma linha, num sentido, por um ponto de referência (ponto de parada ou terminal).	Minutos/H ora
Fator hora pico	Índice calculado; $f_{hp} = \frac{V_h}{V_{DM}}$ onde: V_h = Volume de passageiros transportados na hora pico V_{DM} = Volume diário médio de passageiros transportados	%
Tempo médio de percurso	Somatório dos tempos que os veículos de uma determinada linha levam para cumprir uma viagem sobre o total de veículos	Minutos
Velocidade Média	Velocidade desempenhada por um veículo durante uma viagem, considerando todos os retardamentos. Por exemplo: Pontos de parada, semáforos, congestionamentos etc	(km/h)
Terminal Primário	Terminal onde as viagens têm início. Geralmente nesses terminais são feitas as regulagens, ou seja, rendição de motoristas, refeições e outros.	TP
Terminal Secundário	Terminal onde as viagens se encerram. Não há regulagem.	TS

Fonte: (SPTRANS, 2012)