

LUCIANO PERON

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

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia de Transportes – PTR
Área de Concentração: Sistemas de Informações Espaciais

Exame apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de mestre em engenharia de transportes.

São Paulo, 22 de maio de 2015

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

- <http://www.theses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-05112015-103715/pt-br.php>

CAPÍTULO I

- Introdução
- Objetivo
- Justificativa

CAPÍTULO II

- Referencial teórico
 - Prioridades para o transporte público
 - Sistemas Inteligentes de Transportes
- Microssimulação

CAPÍTULO III

- Aplicação
- Metodologia
- Hipótese

CAPÍTULO IV

- Construção do modelo: Vissim 5.40
- Calibração da Rede
- Cenários

CAPÍTULO V

- Análises e discussões sobre os resultados

CAPÍTULO VI

- Conclusões e recomendações para trabalhos futuros

CAPÍTULO VII

- Referências bibliográficas

INTRODUÇÃO

Conflitos ocasionados pela circulação em tráfego misto (disputa por espaço no sistema viário)

- É um dos fatores que prejudicam a eficiência dos serviços de transporte público
- Os ônibus tornam-se mais suscetíveis a essas interferências: ficam mais lentos e irregulares, portanto, menos **atrativos**.

Como melhorar a atratividade um sistema de transporte público coletivo

- Atributos mais efetivos: a **frequência** e a **regularidade**.
- Como ajustar esses atributos: controle da **velocidade** dos ônibus (Redman, et al., 2012).

Ponto chave: medir o desempenho de um sistema de transporte possibilita conhecer a qualidade do serviço prestado e ajuda a diagnosticar problemas e propor soluções.

Os Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS) 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 a Prioridade Semafórica ou (*Transit Signal Priority - TSP*), como forma de melhorar o desempenho operacional de um corredor de ônibus.

PROBLEMAS

A implantação de corredores *Bus Rapid Transit* - BRT, faixas exclusivas ou faixas prioritárias **visam proteger** os ônibus dos conflitos inerentes ao tráfego geral. Porém, quase sempre dispendem **elevados custos de implantação** e, nem sempre, proporcionam a qualidade desejada por seus usuários **porque não conseguem evitar os atrasos!**

Os benefícios alcançados com **ITS** variam conforme a peculiaridade do sistema, mas geralmente resultam em aumento da velocidade e, conseqüentemente **na** 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 (ITS AMERICA, 2005).

As respostas para o questionamento sobre o quanto os **ITS** podem contribuir para a melhoria da operação de um **específico** corredor de ônibus e respectivos impactos no transporte individual, foram obtidas com o auxílio de microssimulação.

OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

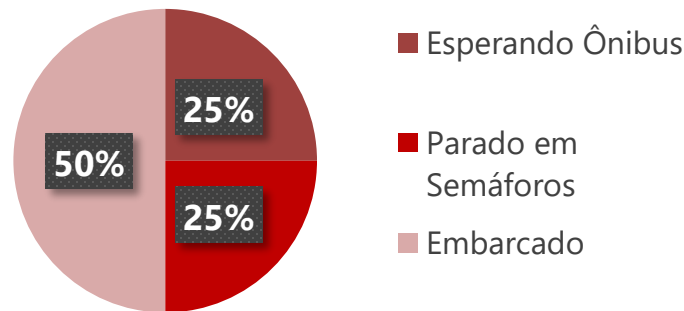
O principal objetivo desta pesquisa **é investigar o possível aumento da velocidade e redução dos tempos de viagem do transporte coletivo** proporcionado pela aplicação de ferramentas ITS, especificamente o *Transit Signal Priority* - TSP.

A principal justificativa para a elaboração desta pesquisa vem da percepção dos usuários a respeito do conjunto dos corredores de ônibus da cidade de São Paulo.

Segundo a Pesquisa de Imagem do Transporte 2012, produzida pela Associação Nacional dos Transportes Públicos - ANTP, **os tempos de percurso nos ônibus não são percebidos positivamente pelos usuários!**

Segundo Whately (2012), os principais retardamentos nos corredores de ônibus são causados, principalmente, devido à **espera nos pontos de parada e nos semáforos.**

Distribuição dos tempos de viagem



Adaptado de Whately (2012)

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

QUESTIONAMENTO:

Os Sistemas Inteligentes de Transportes - (ITS) podem melhorar a operação de um corredor ônibus?

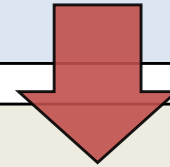
- **Quais os possíveis benefícios, em termos operacionais, que os (ITS), especificamente a Prioridade Semafórica ou *Transit Signal Priority* - TSP podem proporcionar?**

REFERENCIAL TEÓRICO

Constituído de 3 blocos:

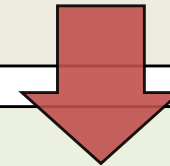
Medidas de prioridade para o transporte público coletivo:

Principais características e aplicações.



Sistemas Inteligentes de Transportes:

Arquitetura, sistemas de prioridade semafórica e medidas de desempenho.



Microssimulação: Características do Software.

REFERENCIAL TEÓRICO

Medidas de prioridade para o ônibus:

Principais características e aplicações.

- ✓ A prioridade para o ônibus nem sempre requer investimentos diretos. Medidas **que restringem o uso do automóvel podem colaborar para a melhoria do desempenho dos ônibus** (FOURSQUARE INTEGRATED TRANSPORTATION PLANNING; NATIONAL BUS RAPID TRANSIT INSTITUTE, 2011).
- ✓ Quando o sistema como um todo se encontra congestionado, as medidas de priorização proporcionam aumento da velocidade média e, portanto, tendem a reduzir os tempos de viagem, **tornado o Sistema mais atrativo** (FERRONATTO, 2002).
- ✓ **Quanto maior o grau de separação em relação ao tráfego geral, maior o controle sobre a movimentação dos ônibus.**



Avenida 23 de Maio em São Paulo



Avenida W. Luis em São Paulo

REFERENCIAL TEÓRICO

Medidas de prioridade para o ônibus:

Principais características e aplicações.

- ✓ Estratégias operacionais tais como: retorno operacional, injeção de frota e outras, são praticadas isoladamente por operadores e gestores do transporte público. Objetivo principal: redução dos custos operacionais.
- ✓ O planejamento urbano (uso do solo), implantação e gestão do sistema viário, dos serviços de transporte público, das operações de trânsito, dos serviços emergenciais e outras atividades inter-relacionadas com as condições de mobilidade, **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 urbana.**

REFERENCIAL TEÓRICO

Sistemas Inteligentes de Transportes

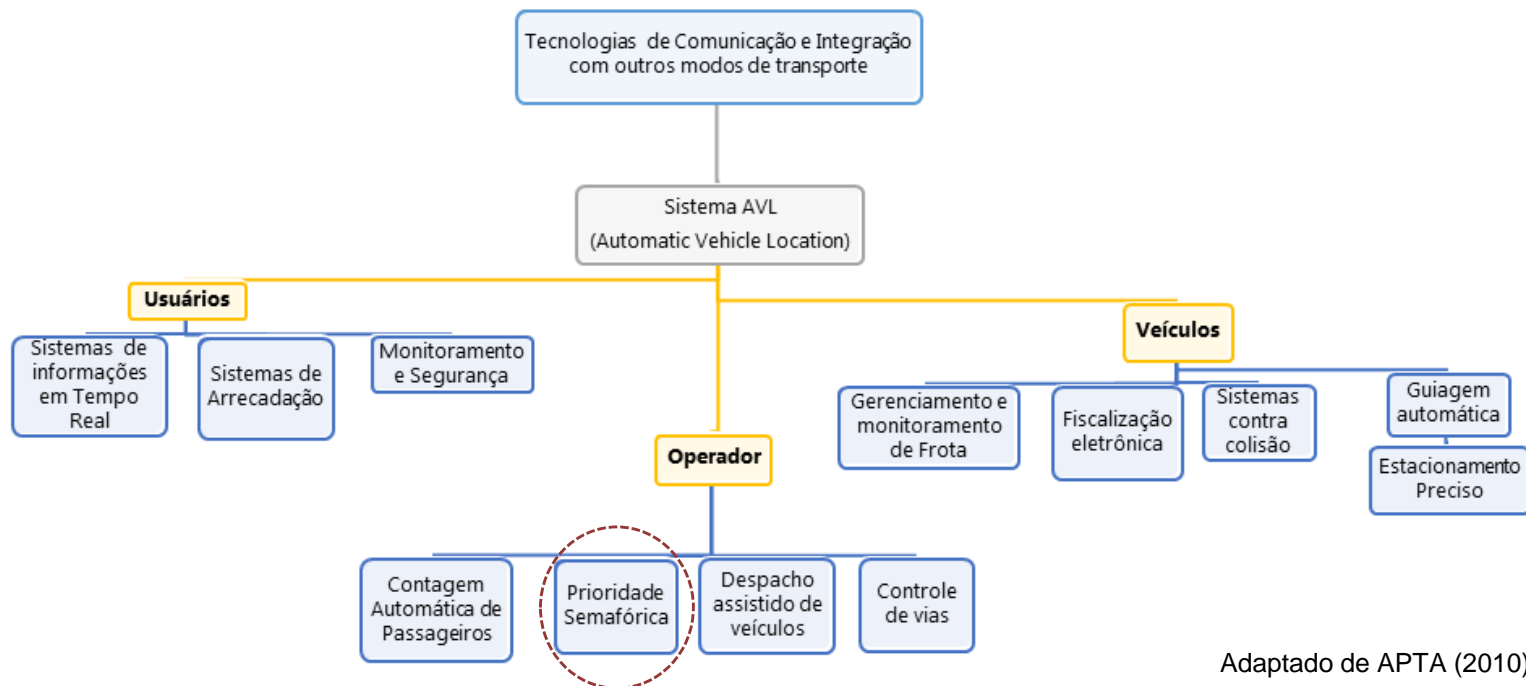
Arquitetura, sistemas de prioridade semafórica e medidas de desempenho.

Os Sistemas Inteligentes de Transportes (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, geram economias de vidas, tempo e dinheiro para a sociedade (ALBORNOZ, 2005).

São necessários três componentes (atores) para que as funcionalidades ITS possam ser aplicadas:

VEÍCULO, USUÁRIO, OPERADOR.

(APTA, 2010)



REFERENCIAL TEÓRICO

Sistemas Inteligentes de Transportes

Arquitetura, **sistemas de prioridade semafórica** e medidas de desempenho.

Formas de Controle Semafórico

Isolado	Coordenado	Centralizado (controle por área)
<p>Atuação independente dos semáforos</p> <p>Não há necessariamente sincronismo</p>	<p>Coordenação do tráfego conforme parâmetros:</p> <p>Tempo de verde</p> <p>Tempo de ciclo</p> <p>Vias arteriais (onda verde)</p>	<p>Opera com 3 estratégias:</p> <p><u>Tempo fixo</u>: Planos semafóricos são implantados de acordo com uma tabela horária.</p> <p><u>Seleção dinâmica</u>: Planos semafóricos armazenados num computador que seleciona a programação mais adequada conforme o fluxo da via. Requer detectores.</p> <p><u>Tempo Real</u>: Planos semafóricos são ajustados dinamicamente conforme a demanda de veículos capturada pelos detectores. Planos são continuamente ajustados. Duas estratégias de prioridade: Passiva e Adaptativa.</p>

(CUNTO E LOUREIRO, 2011)

REFERENCIAL TEÓRICO

Sistemas Inteligentes de Transportes

Arquitetura, **sistemas de prioridade semafórica** e medidas de desempenho.

Formas de Prioridade Semafórica:

Prioridade Passiva

- ✓ Ajuste manual da programação semafórica ou com auxílio de programas específicos;
- ✓ A prioridade passiva é mais indicada para corredores onde os tempos de embarque/desembarque não variam muito (NETO, 2004);
- ✓ 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**.

REFERENCIAL TEÓRICO

Sistemas Inteligentes de Transportes

Arquitetura, **sistemas de prioridade semafórica** e medidas de desempenho.

Formas de Prioridade Semafórica:

Prioridade Adaptativa (ativa)

Tipo de estratégia mais difundida nos Estados Unidos e demonstrou impactos positivos quanto a qualidade dos serviços prestados (Li *et al.*, 2010).

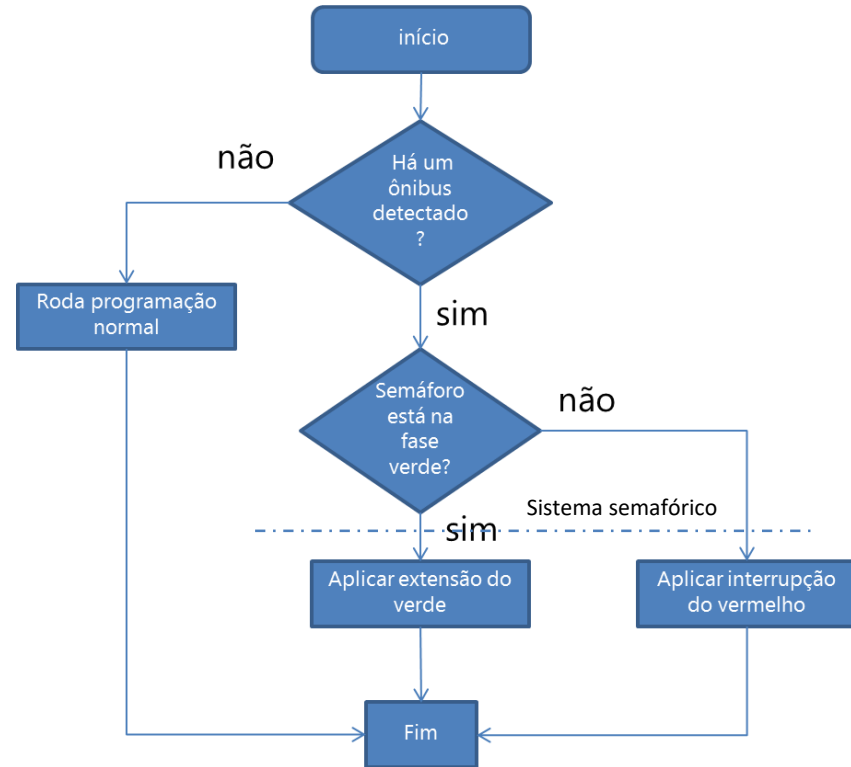
Dois algoritmos:

Incondicional e Condicional

Prioridade Ativa Incondicional

Nenhuma restrição de variáveis de controle, sendo também conhecida como prioridade absoluta.

- Riscos: Prioridade para veículos que não precisam: aderentes à programação, fora de serviço ou de outros sistemas (USDOT e FTA, 2008).
- Pode causar sérios impactos nas vias não priorizadas.



EKEILA, SAYED, ESAWEY, (2009)

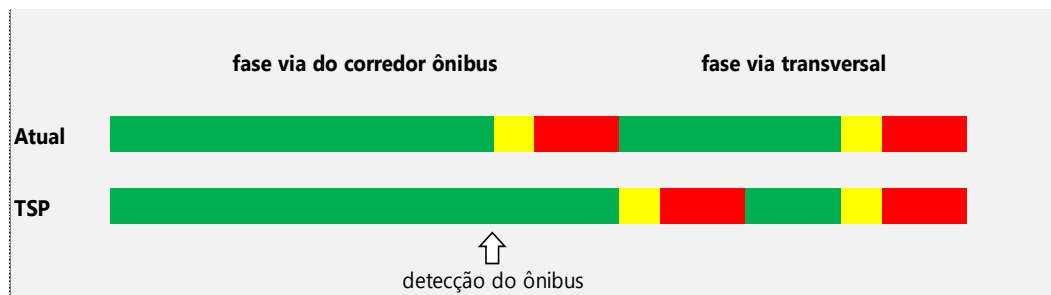
REFERENCIAL TEÓRICO

Sistemas Inteligentes de Transportes

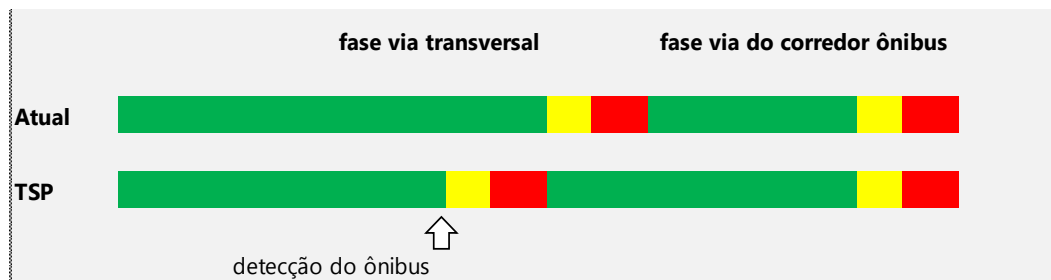
Arquitetura, **sistemas de prioridade semafórica** e medidas de desempenho.

Estratégias de Prioridade Semafórica

Extensão do verde:



Interrupção do vermelho ou
antecipação do verde:



(ALEMÁN, 2013)

REFERENCIAL TEÓRICO

Sistemas Inteligentes de Transportes

Arquitetura, **sistemas de prioridade semafórica** e medidas de desempenho.

Prioridade Ativa Condicional:

Conceitos fundamentais:

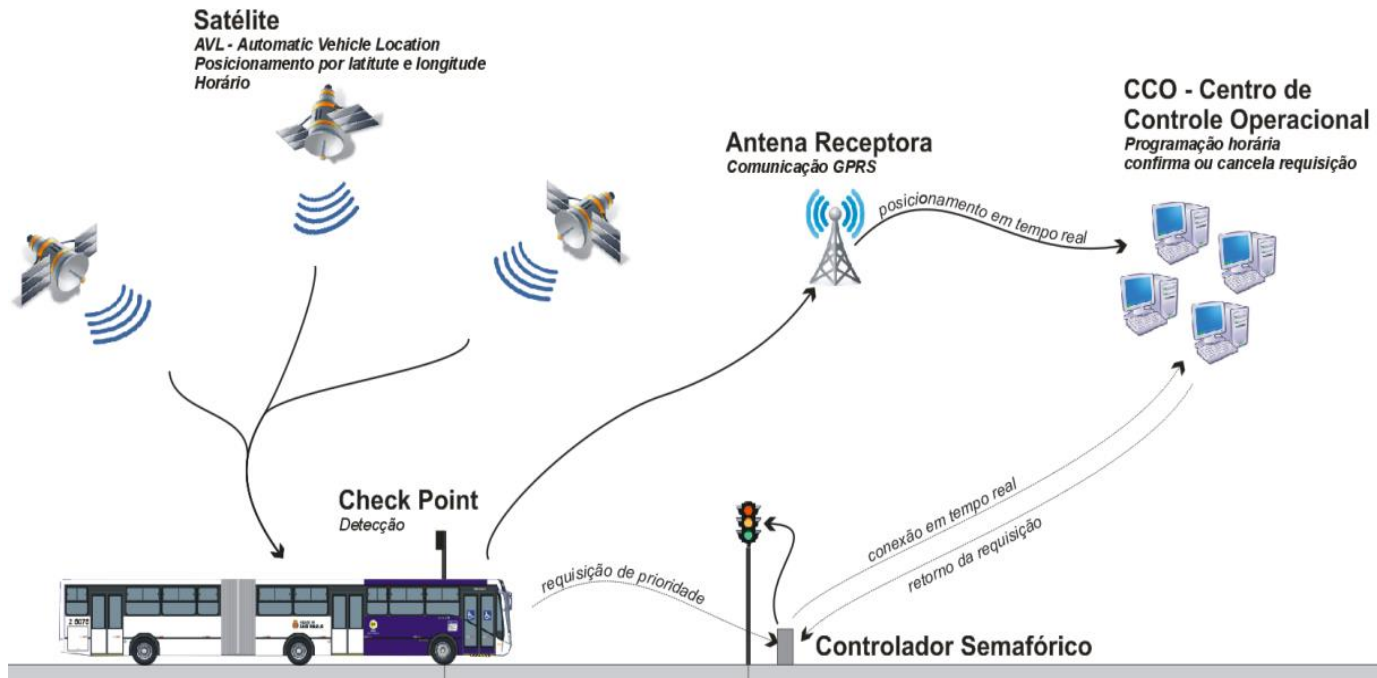
- ✓ Evita impactos negativos para a corrente do tráfego não priorizado (FURTH E MULLER, 2002);
- ✓ Deve-se limitar a frequência de prioridade para ônibus (USDOT e FTA, 2008);
- ✓ Gerar prioridade apenas para os veículos que atendam critérios pré-estabelecidos, tais como: aderência à programação horária ou ocupação de passageiros nos veículos;
- ✓ Integração do controle semafórico em tempo real a sistemas de informação e identificação/localização automática de veículos (*AVI/AVL - Automatic Vehicle Identification / Automatic Vehicle Location*) para propor um sistema de prioridade inteligente.

REFERENCIAL TEÓRICO

Sistemas Inteligentes de Transportes

Arquitetura, **sistemas de prioridade semafórica** e medidas de desempenho.

Prioridade Ativa Condicional



Adaptado de ITS America (2005)

REFERENCIAL TEÓRICO

Sistemas Inteligentes de Transportes

Arquitetura, **sistemas de prioridade semafórica** e medidas de desempenho.

Prioridade Ativa Condicional:

Ex: Portland, EUA.

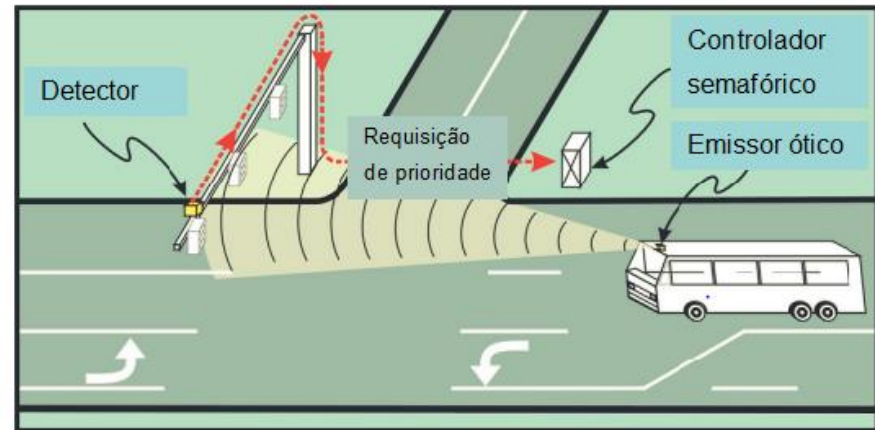
Características:

- ✓ 8 corredores;
- ✓ 250 interseções;
- ✓ 650 veículos;

Condicionantes do TSP:

- ✓ Apenas veículos pertencentes ao sistema municipal;
- ✓ Veículos em operação regular;
- ✓ Com as portas fechadas;
- ✓ Atraso mínimo: 30 segundos
- ✓ Extensão dos tempos de verde: 7 a 10 segundos

Arquitetura do TSP em Portland, EUA



Adaptado de Gardner *et al.* (2009)

REFERENCIAL TEÓRICO

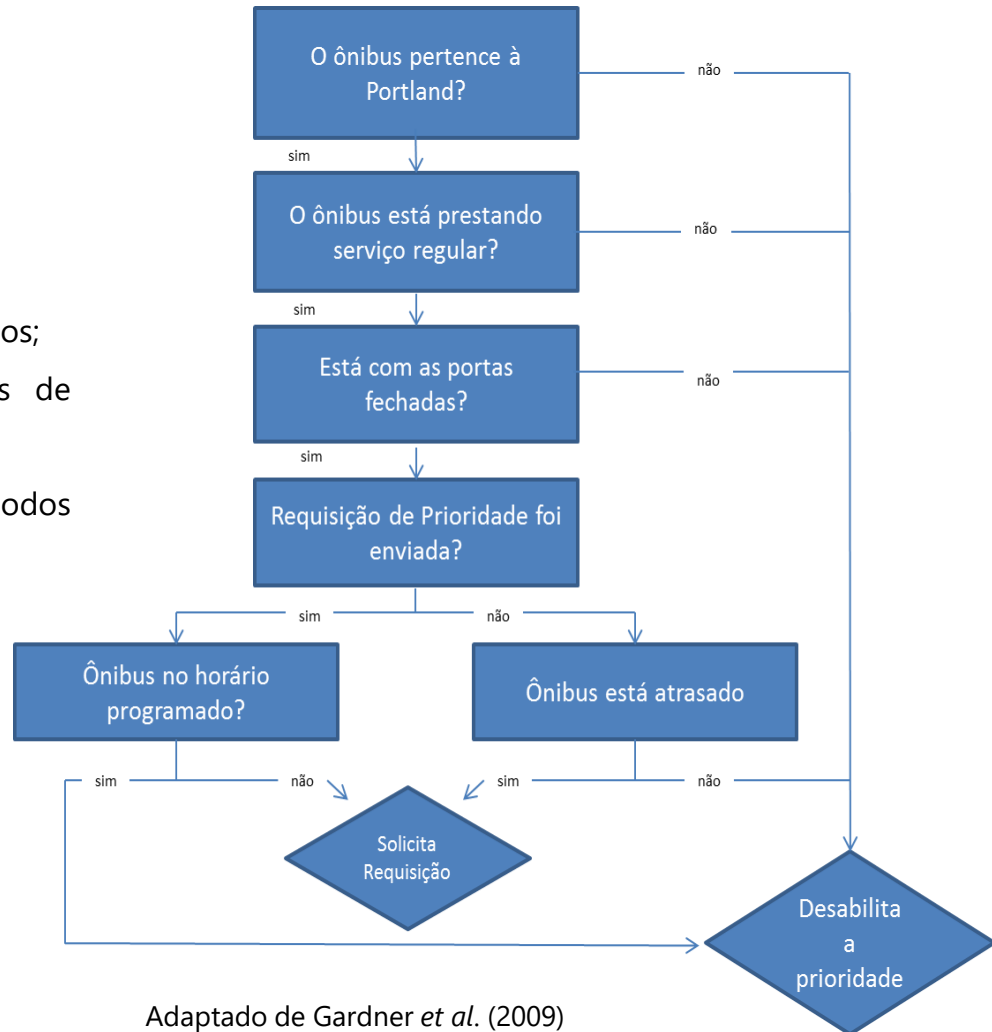
Sistemas Inteligentes de Transportes

Arquitetura, **sistemas de prioridade semafórica** e medidas de desempenho.

Prioridade Ativa Condicional: Exemplo de Portland, EUA.

Resultados:

- ✓ 14% de redução dos tempos de viagem;
- ✓ Redução dos atrasos entre 2 e 13 segundos;
- ✓ Redução da variabilidade dos tempos de viagem;
- ✓ Impactos pouco significativos para os modos não priorizados.



Adaptado de Gardner *et al.* (2009)

REFERENCIAL TEÓRICO

Sistemas Inteligentes de Transportes

Arquitetura, sistemas de prioridade semafórica e **medidas de desempenho**.

Os resultados divulgados nos estudos devem ser vistos com cautela.

- ✓ Os sistemas de transporte são diferentes (volumes, frequências);
- ✓ Área de cobertura (quantidade de interseções);
- ✓ Condições de tráfego (volumes e segregações);
- ✓ Tecnologias empregadas (detecção, estratégias e veículos).

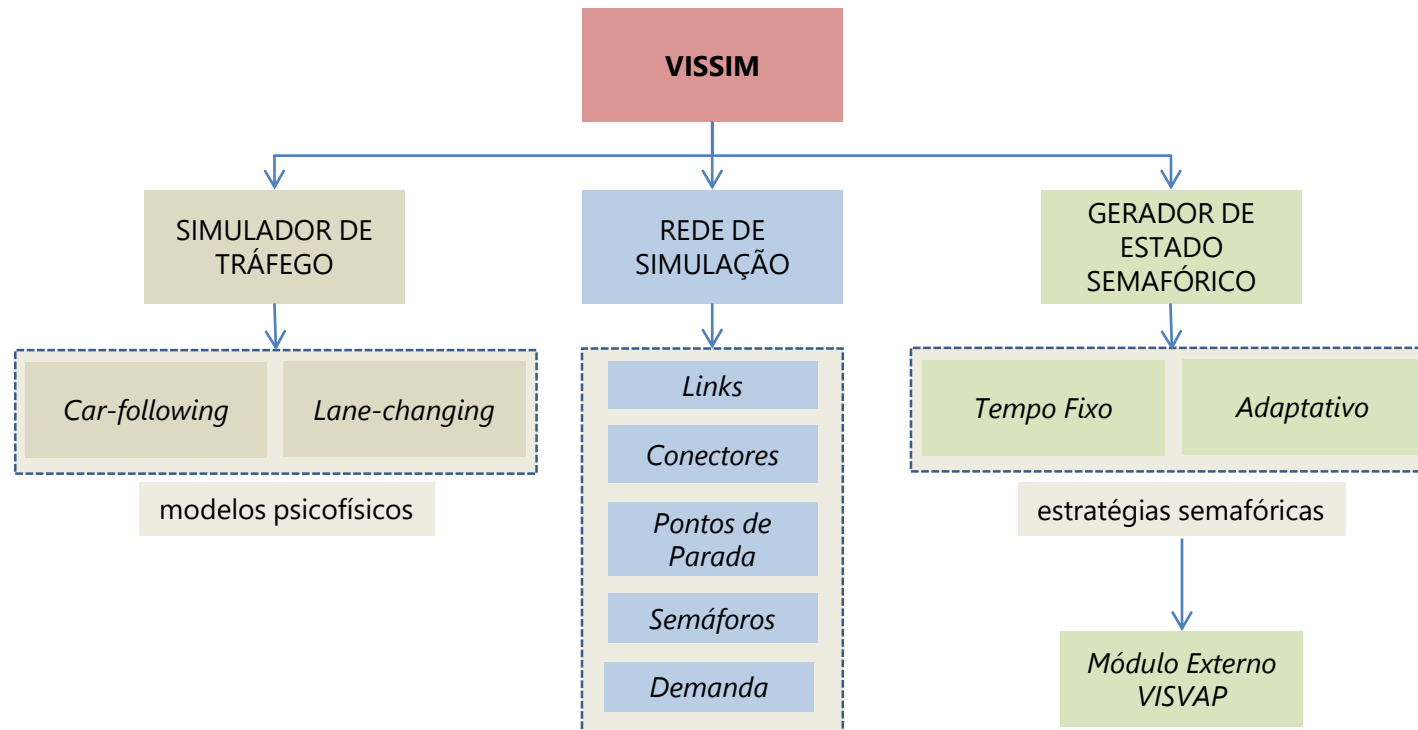
Apesar das particularidades o **TSP condicional geralmente resulta em:**

- ✓ Aumento da velocidade média dos ônibus;
- ✓ Redução dos tempos de viagem;
- ✓ Menores impactos para o tráfego não priorizado.

REFERENCIAL TEÓRICO

Microsimulação (Ferramenta de Análise)

Características do software



REFERENCIAL TEÓRICO

Microssimulação (Ferramenta de Análise)

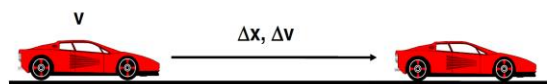
Características do software

Modelos Psicofísicos

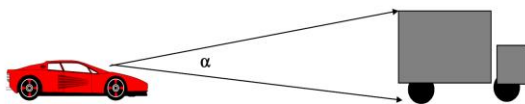
Modelo *car-following*

Wiedemann (1974)

- ✓ Tendência dos veículos ocuparem faixa de tráfego com mais espaço;
- ✓ Velocidade é definida em função do espaçamento entre o veículo perseguidor e o líder.

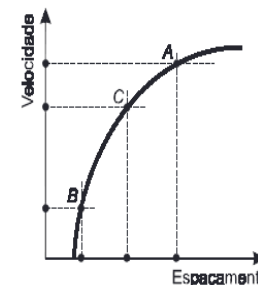
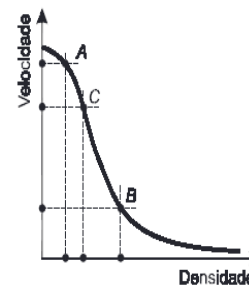
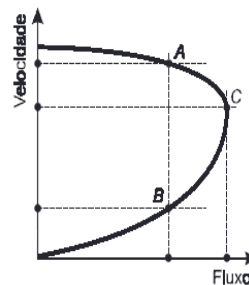


- Aspectos psicológicos:
- Velocidade desejada
 - Distâncias de segurança desejadas
- Aspectos físicos:
- Limites de percepção
 - Controle imperfeito de potência



(PTV , 2012)

Relação fluxo - velocidade



(GOMES, 2004)

REFERENCIAL TEÓRICO

Microssimulação (Ferramenta de Análise)

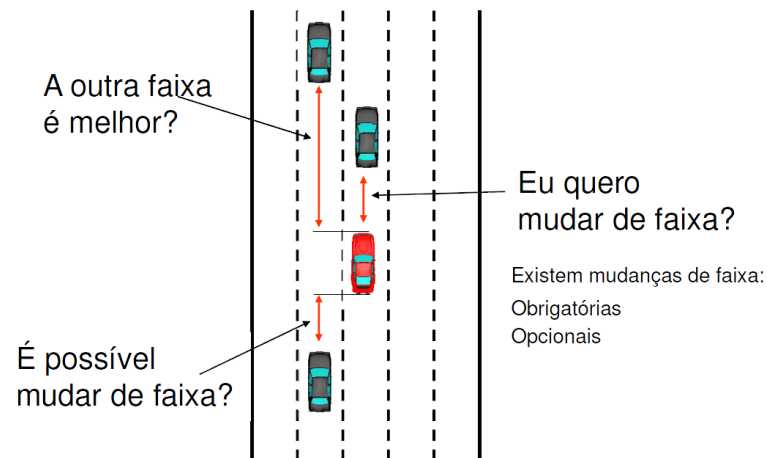
Características do software

Modelos Psicofísicos

Modelo *lane-changing*

Willmann e Sparmann (1978)

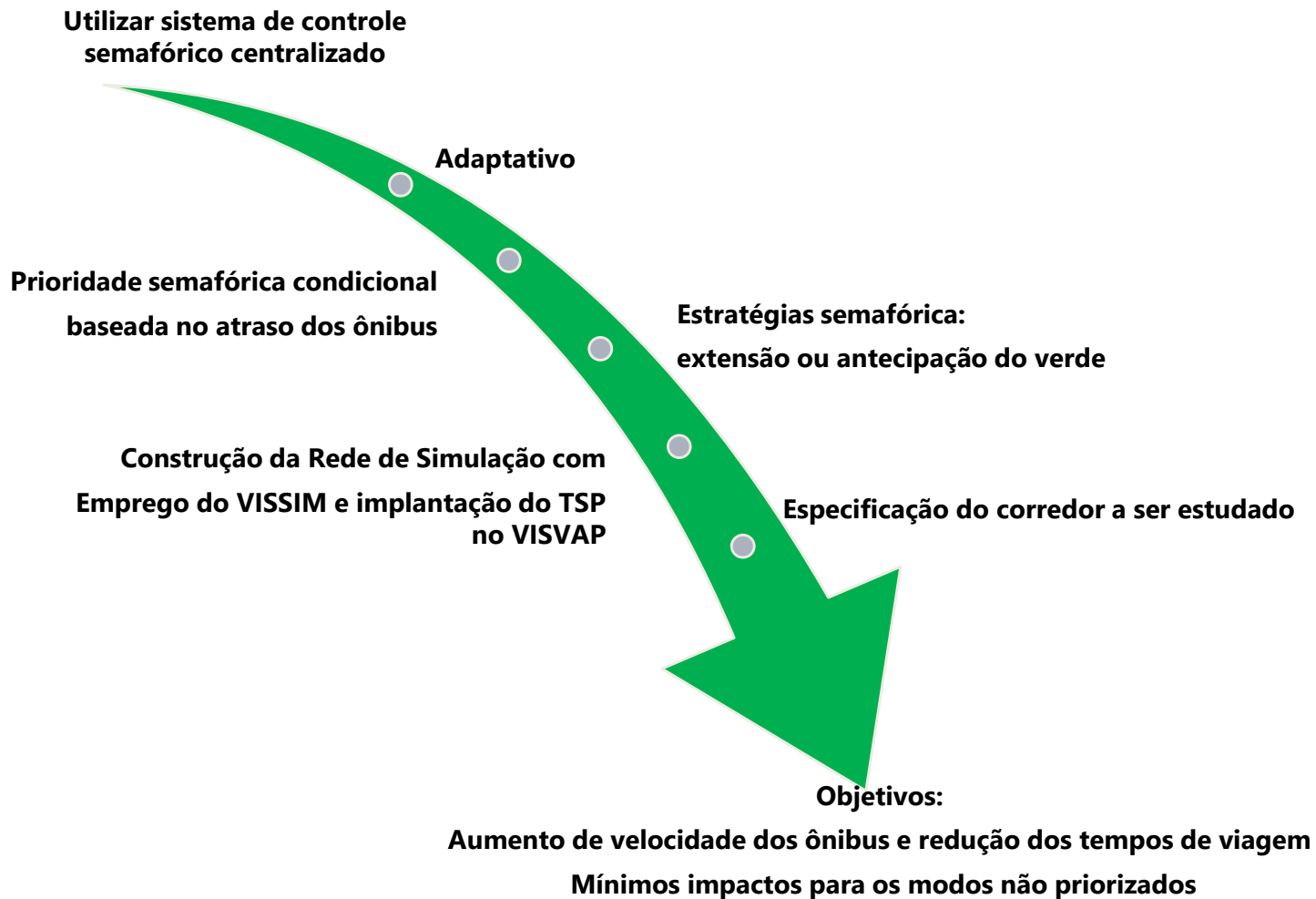
- ✓ Busca por folga ou *gap* apropriada na corrente de tráfego na faixa de destino;
- ✓ Dois tipos de mudanças de faixa no VISSIM:
 - ✓ Mudança de faixa necessária (a fim de alcançar o conector seguinte de uma rota) e;
 - ✓ Mudança de faixa livre (devido à disponibilidade de espaço em faixas adjacentes, permitindo aumentar a velocidade atual do veículo).



(PTV, 2012)

APLICAÇÃO

Hipótese considerada



APLICAÇÃO

Variáveis Utilizadas

Transporte coletivo:

- ✓ Linhas SPTrans que circulam no corredor (49 linhas);
 - o Informações operacionais: Tipo de veículo, Frequências (hora/pico), Velocidade Média;
- ✓ Cadastramento dos pontos de parada (tamanho dos baias);
- ✓ Dados do Sistema Integrado de Monitoramento da SPtrans.

Tráfego Geral:

- ✓ Contagens veiculares classificadas por movimento - CET/SP;
- ✓ Pesquisa de velocidade de retardamento - CET/SP;
- ✓ Planos semafóricos - CET/SP.

Sistema Viário:

- ✓ Largura das vias;
- ✓ Quantidade de faixas;
- ✓ Vias segregadas, conversões e mãos de direção;
- ✓ Localização dos Semáforos.

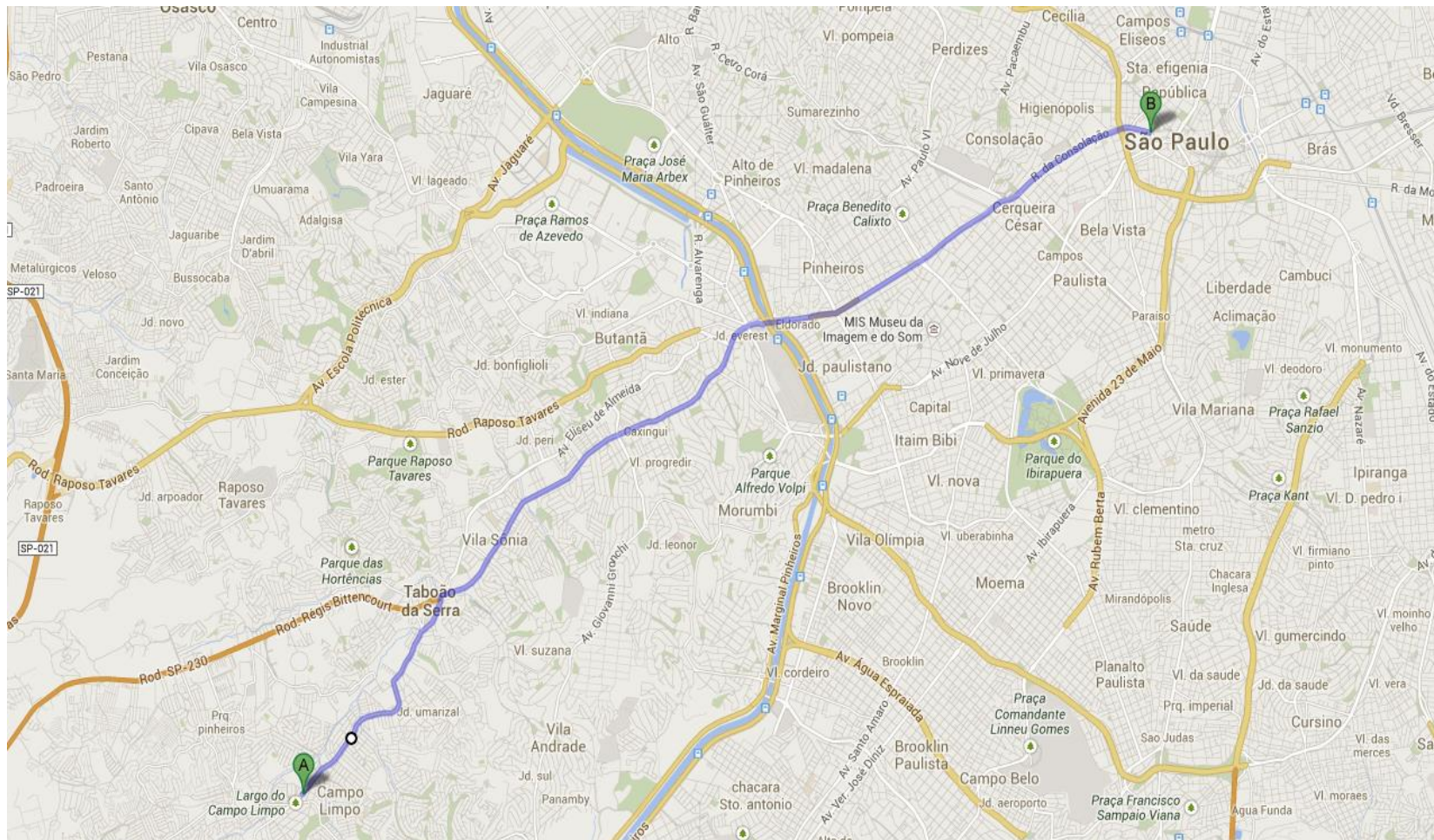
Softwares Utilizados:

- ✓ Google Earth/Maps - Livre
- ✓ Google Fusion Tables – Livre
- ✓ PTV/VISSIM – Licença Acadêmica Temporária

APLICAÇÃO

Especificação do corredor a ser estudado

Corredor Analisado: Corredor Campo Limpo - Rebouças - Centro



APLICAÇÃO

Especificação do corredor a ser estudado

Corredor Analisado: Corredor Campo Limpo - Rebouças - Centro

CORREDOR	CAMPO LIMPO-REBOUÇAS-CENTRO		
	Bairro Centro	Centro Bairro	Total
Extensão (km)	17	17	34
Frota Pico Manhã (5:00 às 7:59)	374	226	600
Frota Pico Tarde (15:00 às 18:59)	364	343	707
Passageiros transportados (média /dia/ útil)	150.438	127.933	278.371
Passageiro Pico Manhã (5:00 às 7:59)	46.373	18.223	64.596
Fator hora Pico Manhã	30%	7,8%	23%
Passageiro Pico Tarde (15:00 às 18:59)	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

APLICAÇÃO

Especificação do corredor a ser estudado

Seleção de um trecho específico:

- ✓ Metodologia: Análise dos dados do SIM - Sistema Integrado de Monitoramento da SPTrans para o corredor Campo Limpo - Rebouças – Centro, data base: 2012;
- ✓ Um dia de medição: aproximadamente 420 mil pontos;
- ✓ Plotagem em intervalos de 80 segundos;
- ✓ Locais que concentram mais pontos são os locais onde os veículos sofrem maiores retardamentos;
- ✓ *Trechos vermelhos: mais pontos, maiores retenções;*
- ✓ Representação do SIM no *GoogleMaps / Fusion Tables* (aplicativo gratuito);
- ✓ *Seleção de um trecho p/ construção do modelo de simulação.*

APLICAÇÃO

Especificação do corredor a ser estudado - Seleção de um trecho específico



Trechos onde ocorrem mais retenções

Trechos com retenções. Obras no sistema viário



Trecho com retenção isolada (semáforo)

Trecho onde as retenções são mais intensas

APLICAÇÃO

Especificação do corredor a ser estudado.

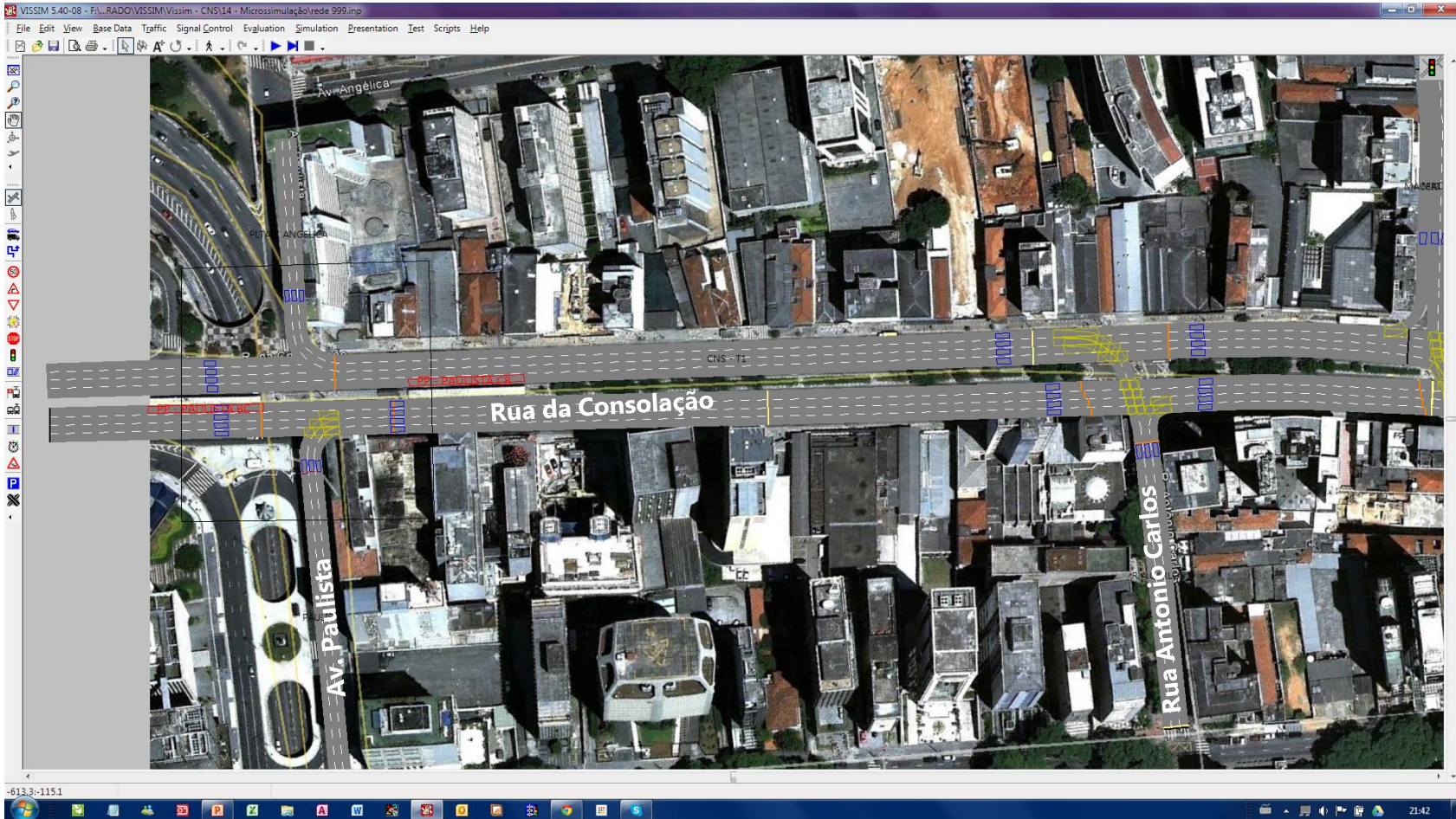
Trecho Selecionado: Rua da Consolação entre avenida Paulista e avenida Ipiranga

Extensão aproximada: 2km (cerca de 10% da extensão total do corredor)



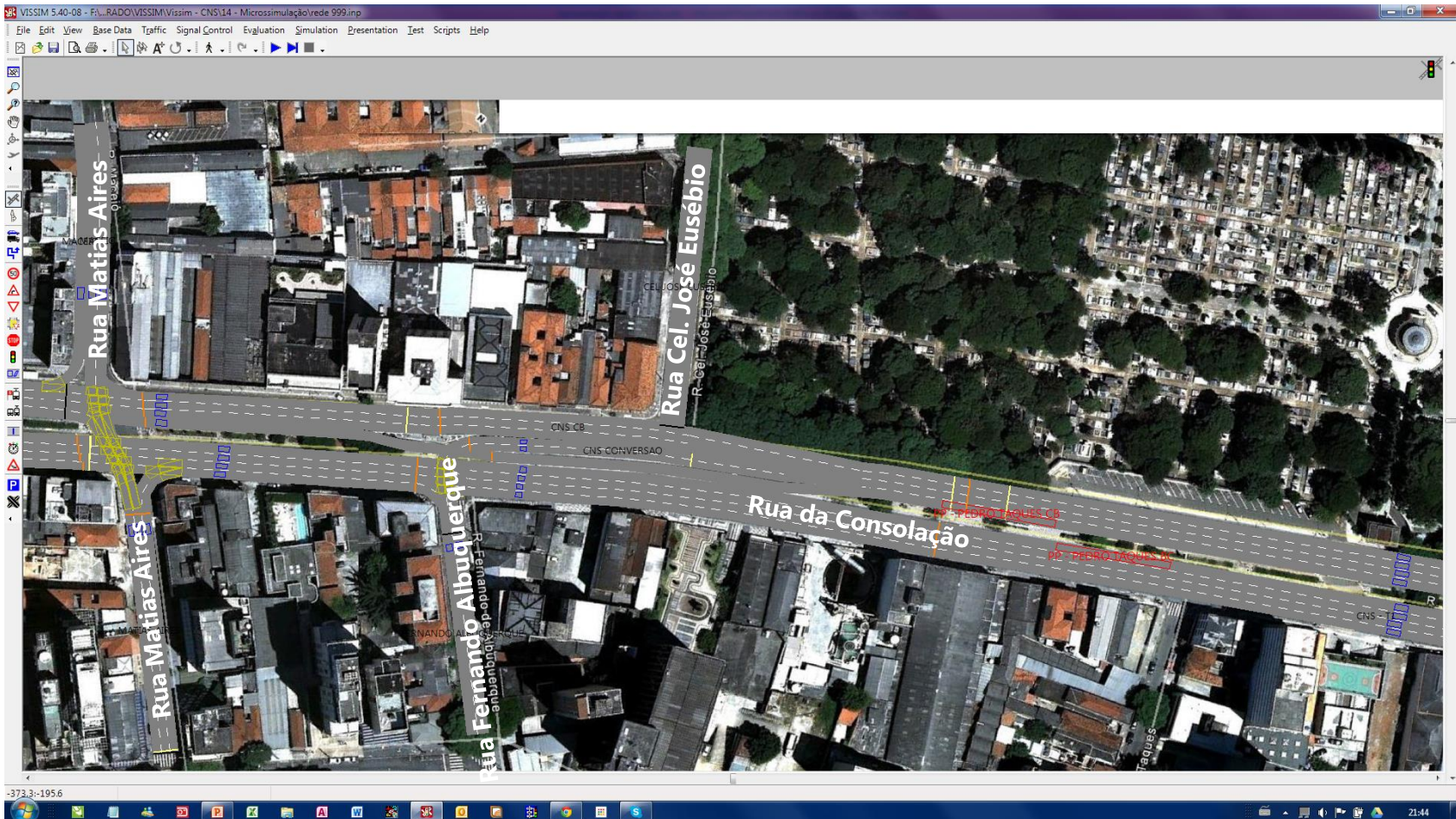
CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

Elaboração da Rede Física: Links, conectores, pontos de parada, semáforos e outros elementos específicos



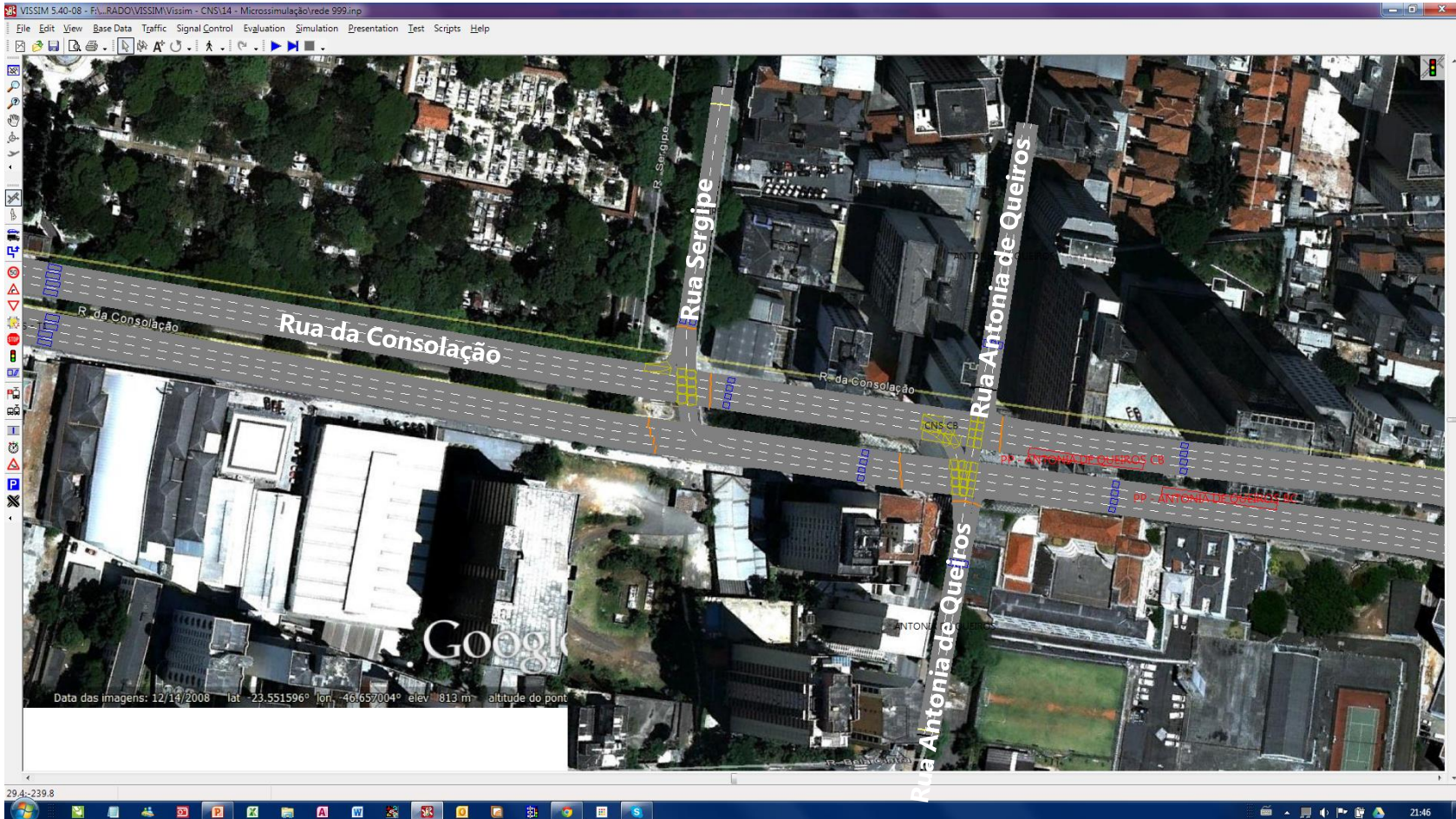
CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

Elaboração da Rede Física: Links, conectores, pontos de parada, semáforos e outros elementos específicos



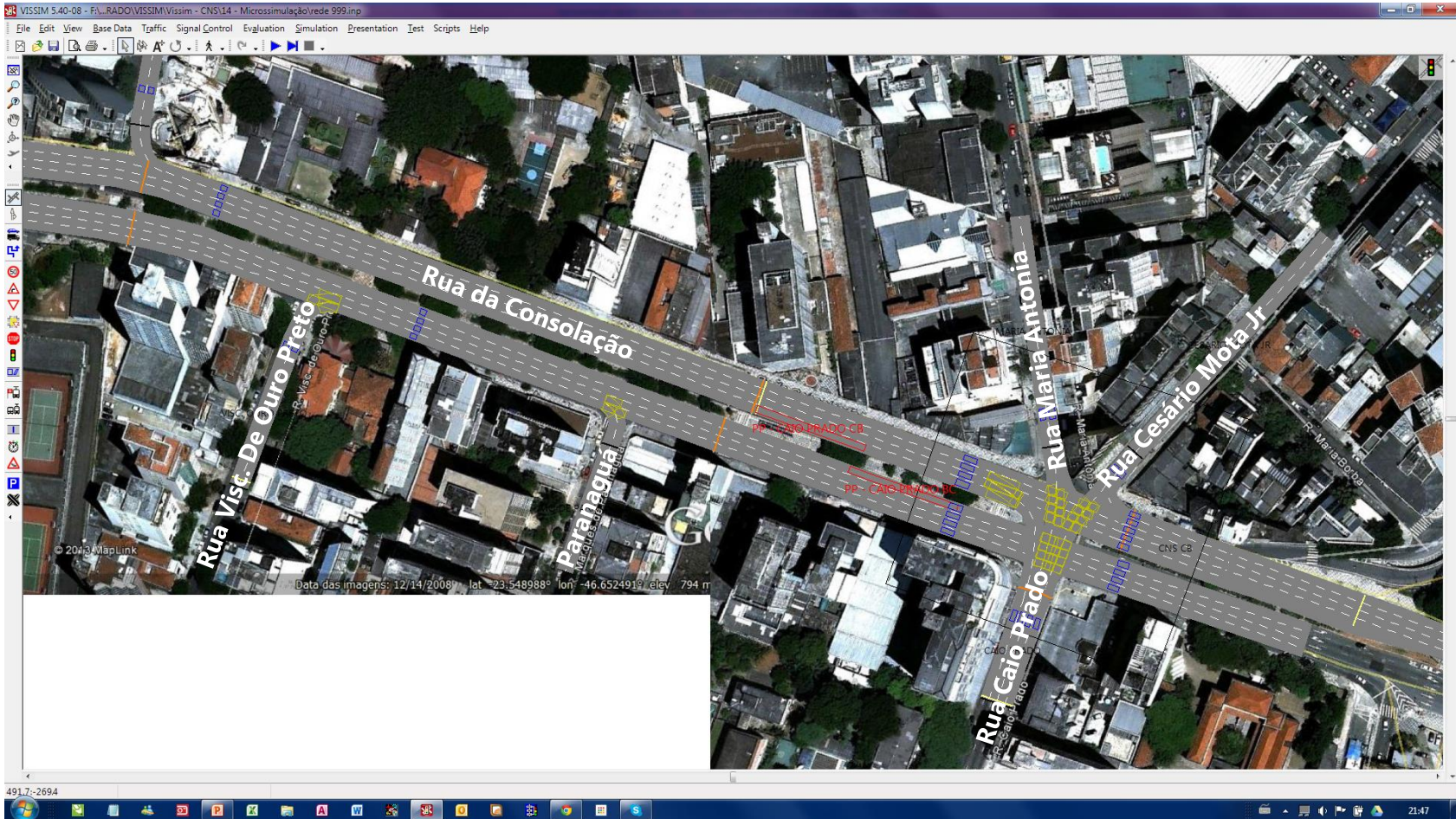
CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

Elaboração da Rede Física: Links, conectores, pontos de parada, semáforos e outros elementos específicos



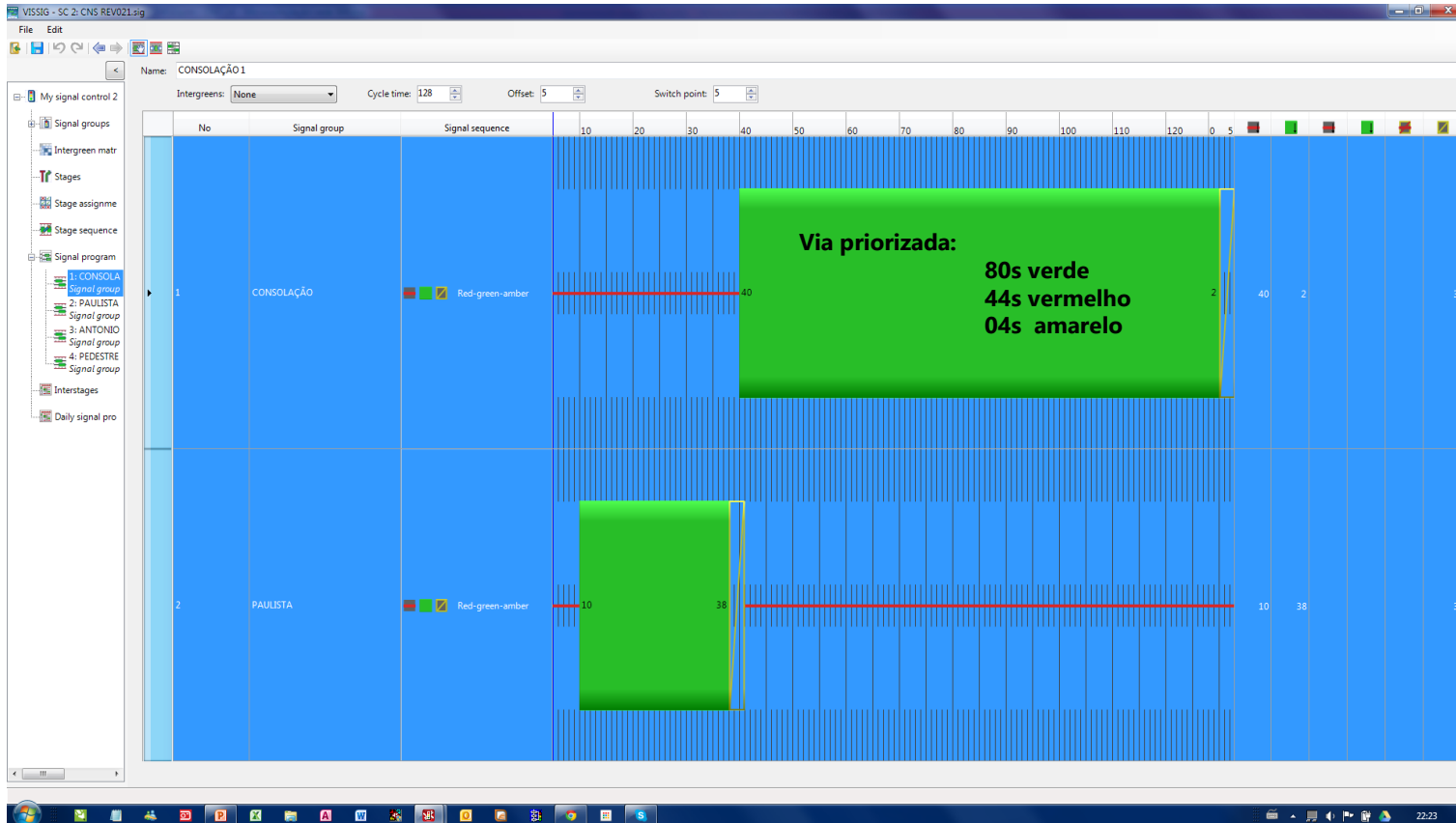
CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

Elaboração da Rede Física: Links, conectores, pontos de parada, semáforos e outros elementos específicos



CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

Configuração dos ciclo semaforico : 128 segundos (tempo fixo)



CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

Inclusão do Tráfego (Demanda)

Exemplo: Vehicle Inputs, composição do tráfego, pontos de calibração

VEHICLE INPUTS (4)					
RUA MATIAS AIRES X RUA DA CONSOLAÇÃO					
QUANTIDADE	AUTO	BUS	CAM	MOTO	TOTAL
Movimento	3	1	0	0	1
Movimento	5	2.513	227	25	3159
Movimento	6	0	0	0	0
Total Consolação	3+5+6	2514	227	25	3160
Movimento	1	101	12	0	126
Movimento	7	2.330	202	28	3.116
Total Consolação	1+7	2431	214	28	3242

Obs: Apesar de incluídos na rede os caminhões não foram calibrados, por representar apenas 1% do fluxo.

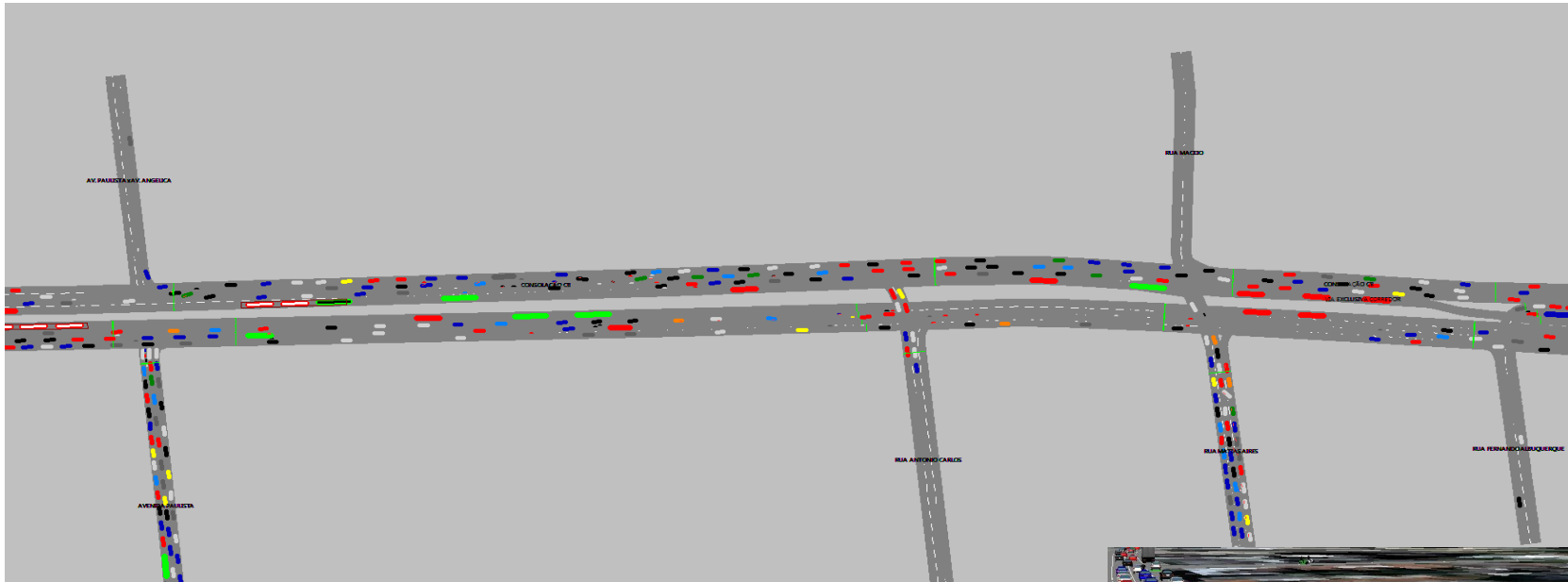
Vehicle Input (movimentos 1/2/3)

COMPOSIÇÃO 3+5+6	TIPO
AUTO	80%
BUS	7%
CAM	1%
MOTO	12%
TOTAL	100%

COMPOSIÇÃO 1+7	TIPO
AUTO	75%
BUS	7%
CAM	1%
MOTO	18%
TOTAL	100%

CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

Exemplo: Alocação dos fluxos (semáforos operando em tempo fixo) e ajustes para calibração



- ✓ Padrões comportamentais dos condutores foram mantidos conforme padrão do software;
- ✓ Exceção: Motociclistas que trafegam entre os veículos e, devido ao comportamento mais agressivo de condução, influenciam no desempenho dos automóveis.

CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

Calibração

Considerações sobre o procedimento:

- ✓ Ayala (2013): 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): Revisão bibliográfica sobre o assunto e relatam que: **não há uma forma única, ou procedimento padronizado para validar esses tipos de modelos.**
- ✓ Portanto, julgou-se suficiente calibrar a rede de simulação, comparando-se os volumes observados versus os volumes simulados.

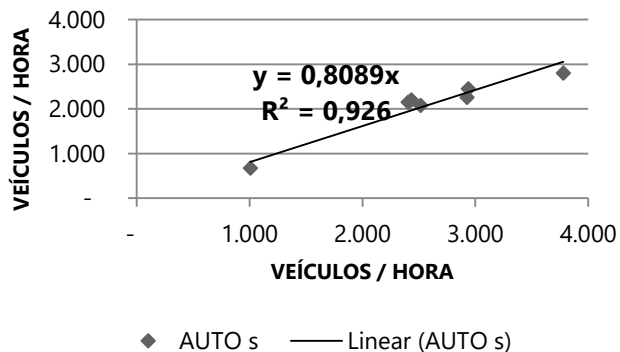
DATA COLLECTION	CONTAGEM CET (MOVIMENTOS)	AUTO	AUTO (S)	BUS	BUS (S)	MOTO	MOTO(S)	TOTAL	TOTAL(S)
13	BC (1+3)	2.402	2.150	194	145	591	503	3.204	2.798
17	BC (1+7)	2.431	2.199	214	145	569	521	3.242	2.865
31	BC (2+4)	2.935	2.449	168	141	649	576	3.772	3.166
21	CB (3+5+6)	2.514	2.079	227	148	394	401	3.179	2.628
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

CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

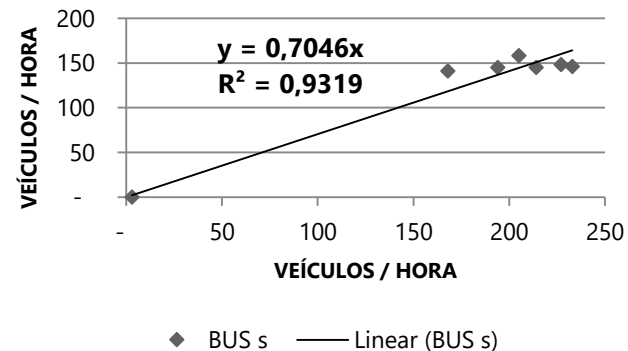
Calibração

De acordo com Wilson (1976), *apud* Ferreira (1999), o teste qui-quadrado (χ^2) é comumente aplicado na avaliação de frequências observadas (pesquisadas) versus as frequências esperadas (estimadas ou no caso, simuladas).

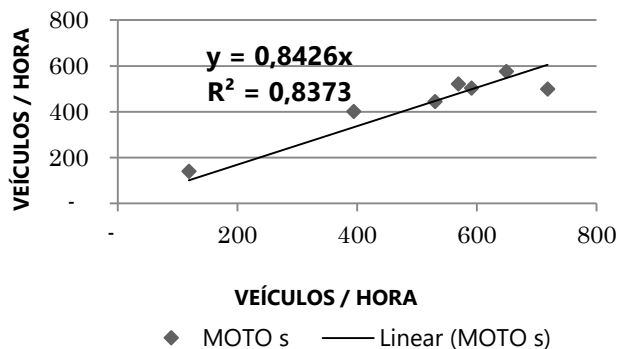
Calibração auto



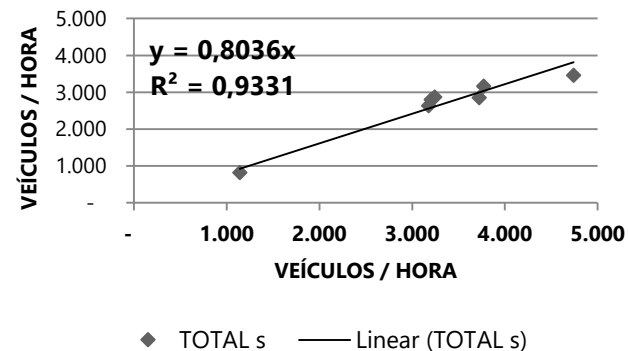
Calibração ônibus



Calibração moto



Calibração todos modos



CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

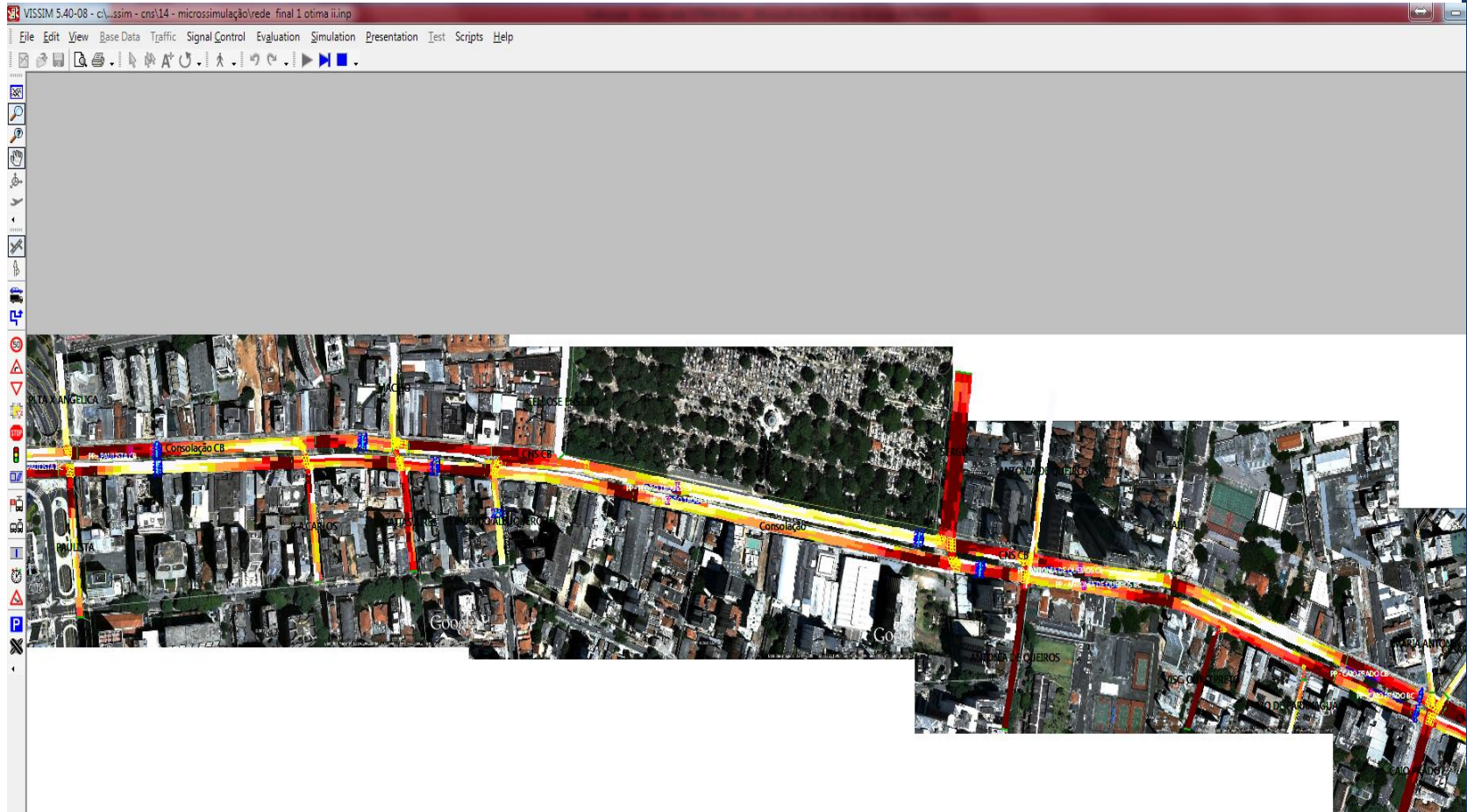
Rede de Referência – Comparação dos Tempos médios

- ✓ 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: Trecho entre Avenida Paulista e a rua Caio Prado;
- ✓ **Modo Auto:** Simulado versus Relatório de desempenho do sistema viário principal - Volume e Velocidade (CET/SP, 2012);
- ✓ **Modo Ônibus:** Simulado versus Sistema de Monitoramento Integrado - SIM (SPTRANS, 2012).

	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%

CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

Rede de Referência – Localização dos retardamentos



CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

Estudos de Hipóteses e Elaboração dos Cenários

- ✓ Elaboração de testes hipotéticos com a implantação do TSP numa única interseção, considerando sempre a condição de atraso do veículo.
- ✓ Para o TSP atuar, é necessário que o intervalo de detecção de veículos da mesma linha seja superior ao *headway* planejado.
- ✓ Estes testes serviram para verificar o comportamento da rede calibrada sob a implantação da prioridade condicional.

HIPÓTESE 1

- Aplicação do TSP diretamente sobre a rede calibrada;
- Oferta atual de transporte público equivalente a 306 ônibus/hora;
- Resultados: Controles semaforicos em operação desregulada, colapso na rede.

HIPÓTESE 2

- Aplicação do TSP diretamente sobre a rede calibrada;
- Prioridade condicional apenas para os principais serviços que operam no corredor;
- “Racionalização” . Apenas serviços troncais podem requisitar prioridade: Oferta de 265 ônibus/hora;
- Resultados: Satisfatórios, possibilitando a criação dos cenários

CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

Elaboração dos Cenários

Premissas adotadas:

- ✓ Prioridade semaforica condicional baseada no atraso;
- ✓ Sensores posicionados próximos aos pontos de maior retardamento (interseções ou pontos de parada);
- ✓ Prioridade apenas para as linhas com *headway* inferior a 600 segundos "racionalização";
- ✓ Estratégia de prioridade semaforica: Extensão de verde.

Variáveis de controle:

- ✓ Velocidades;
- ✓ Tempo de viagem do ônibus e do automóvel ao longo do trecho simulado;
- ✓ Tempo de viagem entre os pontos de parada do trecho simulado;
- ✓ Tempos médios nas interseções (impacto do TSP nas vias não priorizadas).

CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

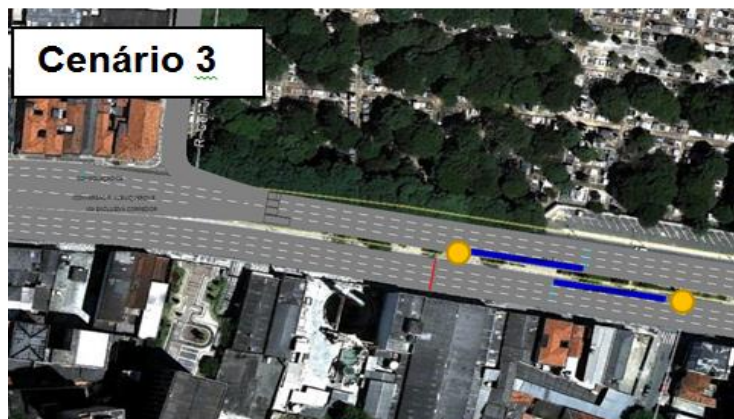
Disposição dos sensores: 1 sensor = 1 cenário



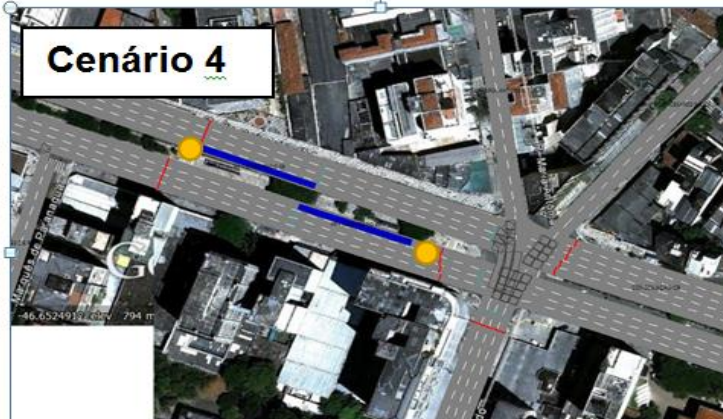
Avenida Paulista e rua da Consolação;



Rua Matias Aires e rua da Consolação;



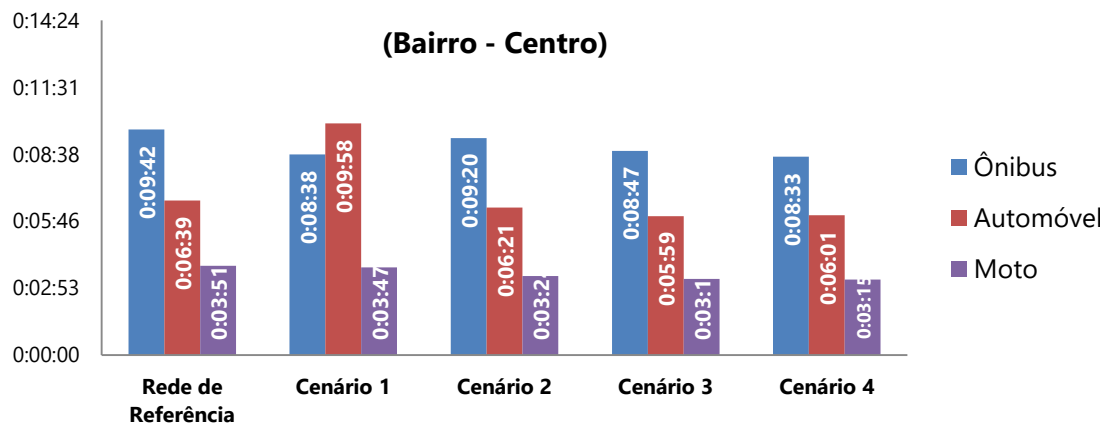
Rua Fernando de Albuquerque e Sergipe;



Marques de Paranaguá e Caio Prado

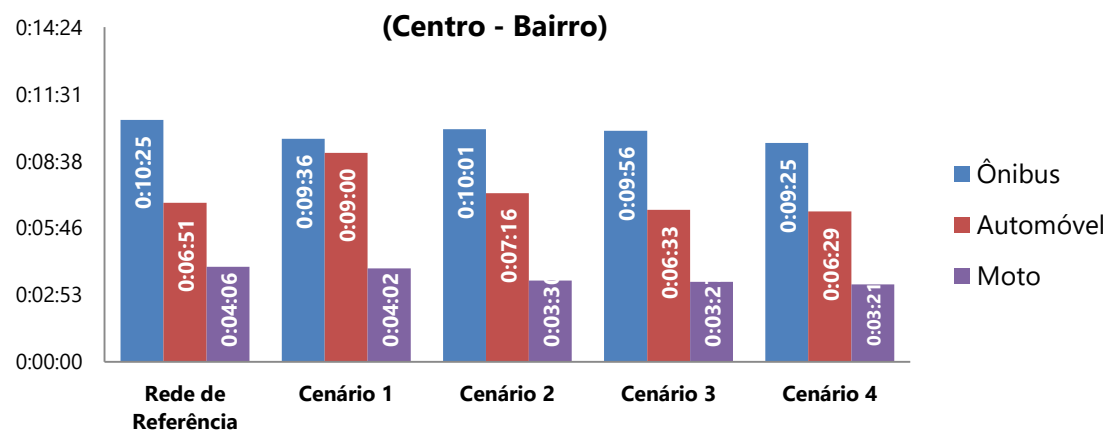
ANÁLISES SOBRE OS RESULTADOS

Comparativo entre os tempos médios de viagem (minutos)



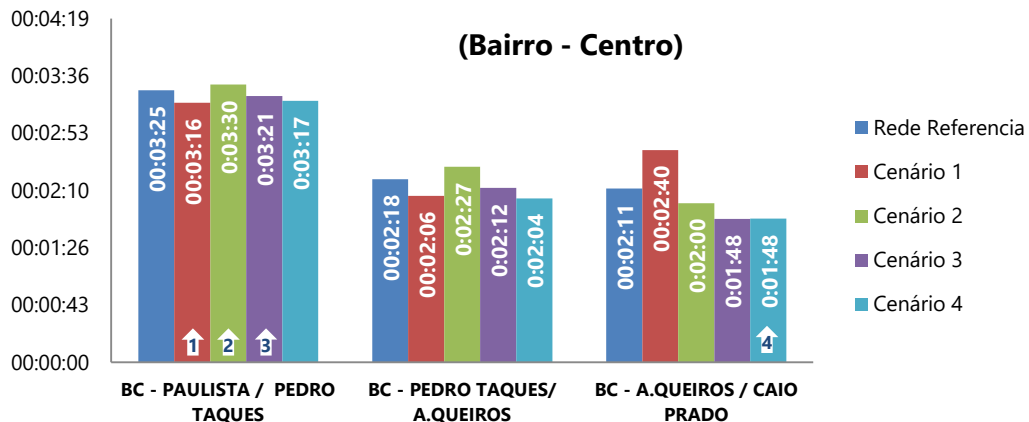
Resultados:

- ✓ Redução dos Tempos Médios de Viagem para o **modo ônibus** em todos os cenários;
- ✓ Impactos negativos para o modo automóvel nos cenários 1 e 2;
- ✓ Cenário 4: Mais eficiente.



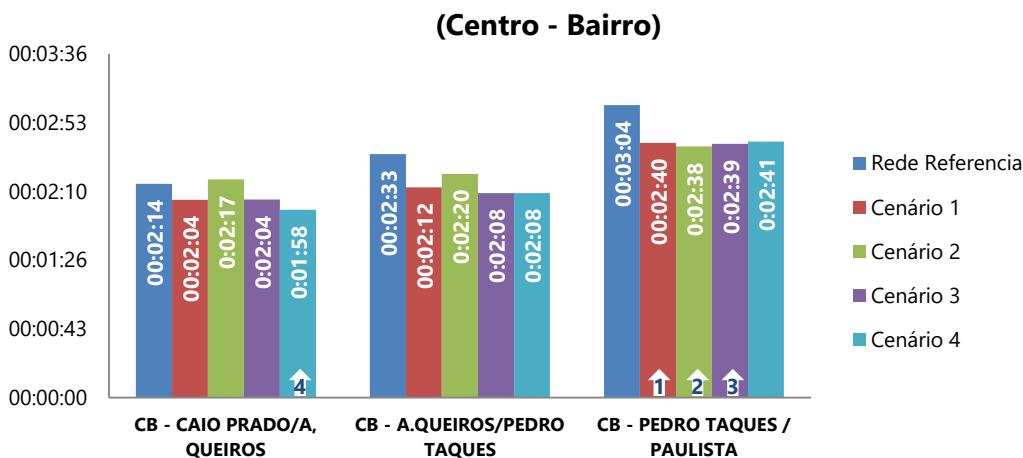
ANÁLISES SOBRE OS RESULTADOS

Comparativo dos tempos médios entre as os pontos de parada (minutos)
(exclusivo modo ônibus)



Resultados:

- ✓ Redução dos tempos médios entre as paradas.
- ✓ Exceções;
 - Cenário 1 entre A. Queiros / Caio Prado (distancia) no sentido BC;
 - Cenário 2, cujo sensor não está instalado junto ao ponto de parada.



ANÁLISES SOBRE OS RESULTADOS

Comparativo das Velocidades Médias (km/h) e Impactos nos tempos médios de viagem

Velocidades Média (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

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%

Resultados:

- ✓ Cenários 2 e 4 apresentaram **aumento da velocidade média de 8,5%** para os ônibus;
- ✓ O **Cenário 4** apresentou os maiores ganhos de velocidade para os três modos simulados. Nele se constata, inclusive, as mais **significativas reduções nos tempos médios de viagem para o modo ônibus (até -12%)**;
- ✓ O Cenário 1 se mostrou como o mais desfavorável para o modo automóvel.

ANÁLISES SOBRE OS RESULTADOS

Comparativo dos tempos médios gastos nas interseções (minutos) (todos os modos)

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

- ✓ Em relação ao cenário referencial, apenas as interseções das ruas Visconde de Ouro Preto e Sergipe (sentido Bairro), não se beneficiaram diretamente do TSP em todos os cenários;
- ✓ A aplicação do TSP pode não só melhorar os tempos de viagem na via priorizada, mas também pode reduzir os tempos de espera (atrasos) nas transversais.
- ✓ Este fato pode ser atribuído à reconfiguração que o TSP faz nos ciclos semaforicos. A melhoria de fluidez do tráfego na via priorizada, auxilia o escoamento das filas nas vias transversais, fazendo com que haja ganhos de tempo.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Relembrando o objetivo central desta dissertação: **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 num trecho escolhido de um específico corredor de ônibus**;
- ✓ No trecho simulado 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;
- ✓ A recomendação de Furth e Muller (2002) quanto às interseções não priorizadas pode ser corroborada. Uma vez que foram identificadas reduções dos tempos médios de viagem, inclusive nas vias transversais (não priorizadas);
- ✓ Por fim, o **TSP Condicional** tem grande potencial de proporcionar viagens mais rápidas e regulares e, sua implantação pode proporcionar maior regularidade ao sistema. Importante atributo para atrair novos usuários conforme sugerem (Redman, et al., 2012).
- ✓ Em Portland, a redução dos tempos médios de viagem foi de 14% conforme Gardner *et al.* (2009), pouco acima dos 12% constatados no Cenário 4 desta pesquisa.
- ✓ Em Portland, os impactos nas vias não priorizadas foram pouco significativos. Nesta pesquisa, **constatou-se que houve redução dos tempos médios gastos também nestas vias**.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ É recomendável que antes de implantar o TSP, seja elaborado um projeto de racionalização do sistema, que contemple, inclusive, um eventual reordenamento da circulação do entorno, bem como ajustes nos ciclos semaforicos. Este tipo de medida torna o TSP mais eficaz e minimiza os impactos sobre os outros modos;
- ✓ Considerar também que, antes de implantar uma tecnologia de prioridade semaforica, é preciso amadurecê-la, criar padrões, diretrizes de implantação e operação, assim como definir critérios de avaliação desses projetos. Em países Europeus, essa técnica é muito difundida;
- ✓ Sugere-se a elaboração de uma análise custo x benefício que preceda qualquer implantação de projetos desta natureza;
- ✓ Recomenda-se como continuidade deste trabalho, elaborar uma análise de sensibilidade para implantar o TSP Condicional, baseado num fator de atraso, conforme sugerido por Gardner et al. (2009);

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Uma importante contribuição seria dada se os tempos obtidos nas simulações fossem calculados para 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 Condicional e a redução dos custos operacionais, também podem ser investigados, uma vez que com a priorização, os veículos tendem a manter o desempenho constante por mais tempo, **resultando em menor** consumo de combustível, menores emissões de poluentes e inclusive ruídos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

✓ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ 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. 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.
- ✓ NETO, F. M. D. O. **Priorização do Transporte Coletivo Por Ônibus Em Sistemas Centralizados De Controle De Tráfego**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2004.
- ✓ 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, P. C. M.; TYLER, N. **Sobre a validação de modelos microscópicos de simulação de tráfego**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 16. 2001
- ✓ USDOT / FTA. **Transit Signal Priority Research Tools**. U.S. Department of Transportation. Washington D. C.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ SILVA, P. C. M.; TYLER, N. **Sobre a validação de modelos microscópicos de simulação de tráfego.** Universidade de Brasília. Brasília, p. 16. 2001
- ✓ USDOT / FTA. **Transit Signal Priority Research Tools.** U.S. Department of Transportation. Washington D. C. 2008.
- ✓ 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.

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia de Transportes – PTR
Área de Concentração: Sistemas de Informações Espaciais

Exame apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de mestre em engenharia de transportes.

São Paulo, 22 de maio de 2015