

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

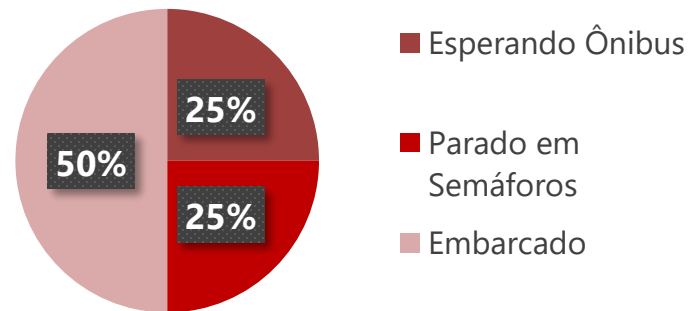
O principal objetivo desta pesquisa **é investigar o possível aumento da velocidade e redução dos tempos de viagem do transporte coletivo** proporcionado pela aplicação de ferramentas ITS, especificamente o *Transit Signal Priority* - TSP.

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?**

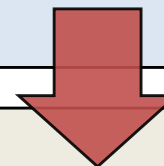
- **Quais os possíveis benefícios, em termos operacionais, que os (ITS), especificamente a Prioridade Semafórica ou *Transit Signal Priority* - TSP podem proporcionar?**

## REFERENCIAL TEÓRICO

Constituído de 3 blocos:

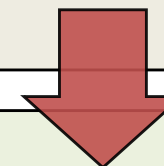
### **Medidas de prioridade para o transporte público coletivo:**

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**, tornando 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

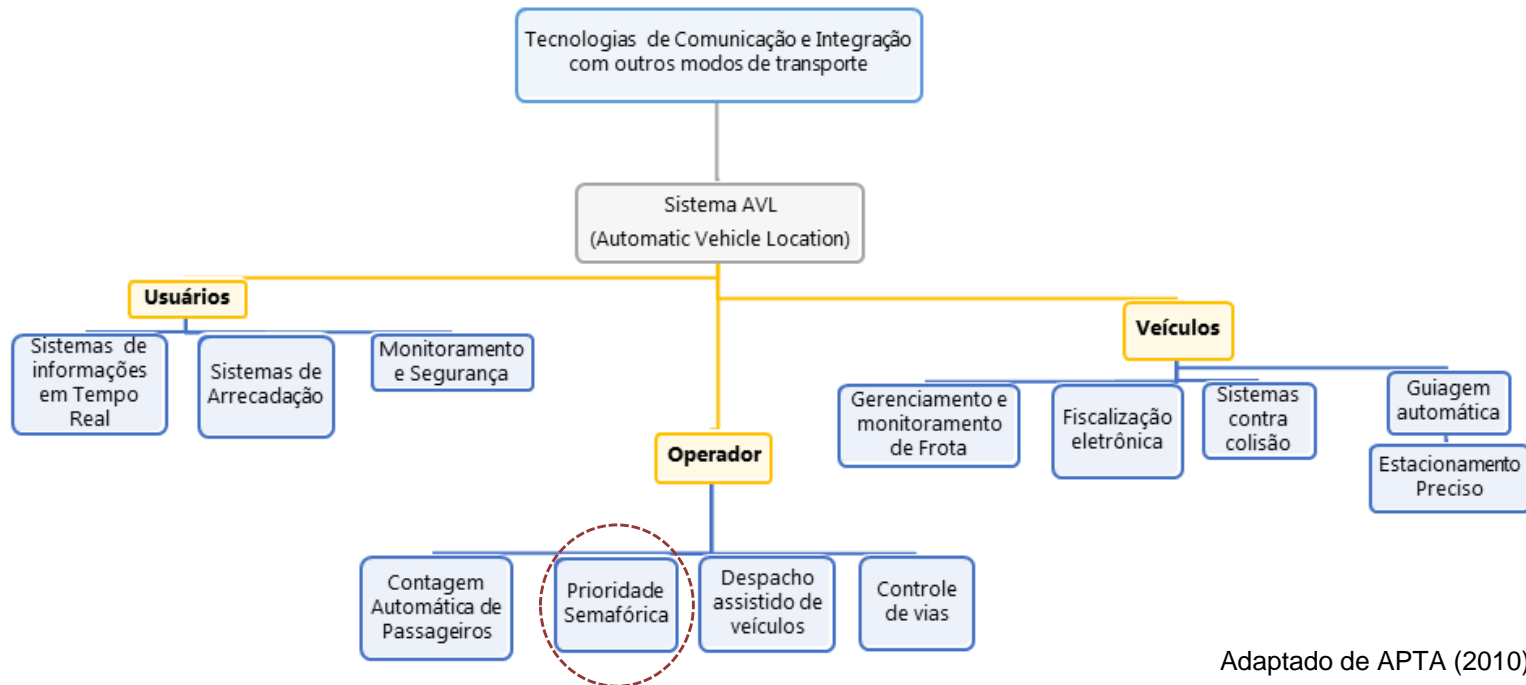
**Arquitetura**, sistemas de prioridade semafórica e medidas de desempenho.

*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: <b>Passiva e Adaptativa.</b></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).

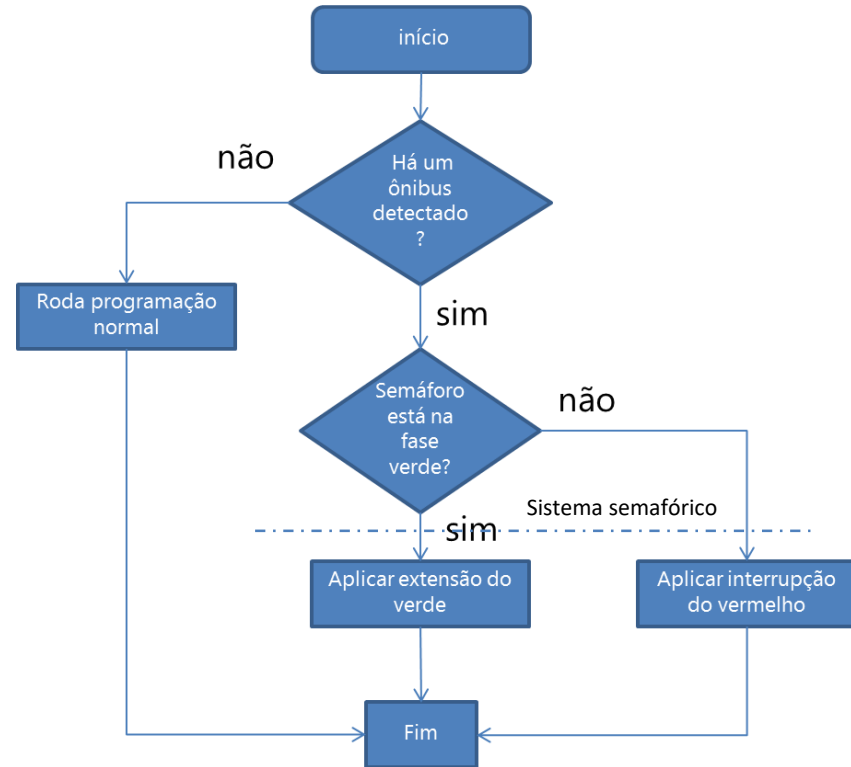
#### Dois algoritmos:

##### 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)

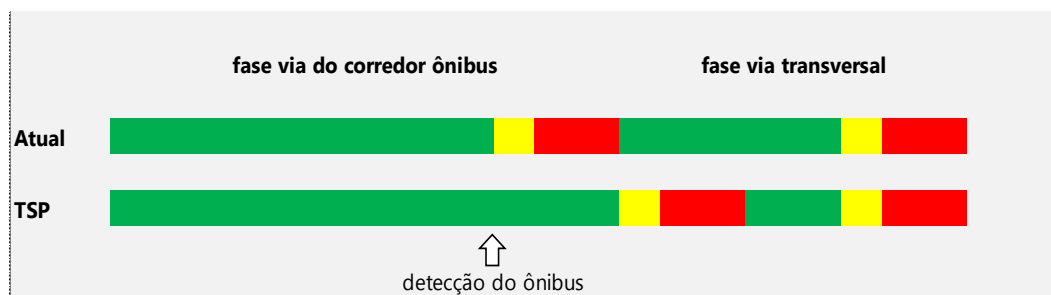
## REFERENCIAL TEÓRICO

### Sistemas Inteligentes de Transportes

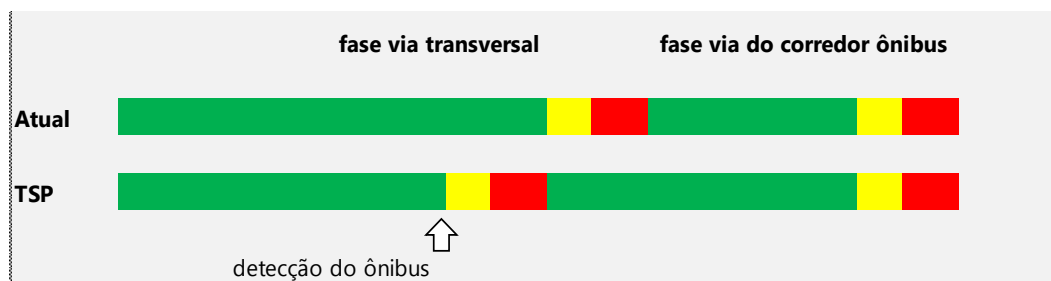
Arquitetura, **sistemas de prioridade semafórica** e medidas de desempenho.

### 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.

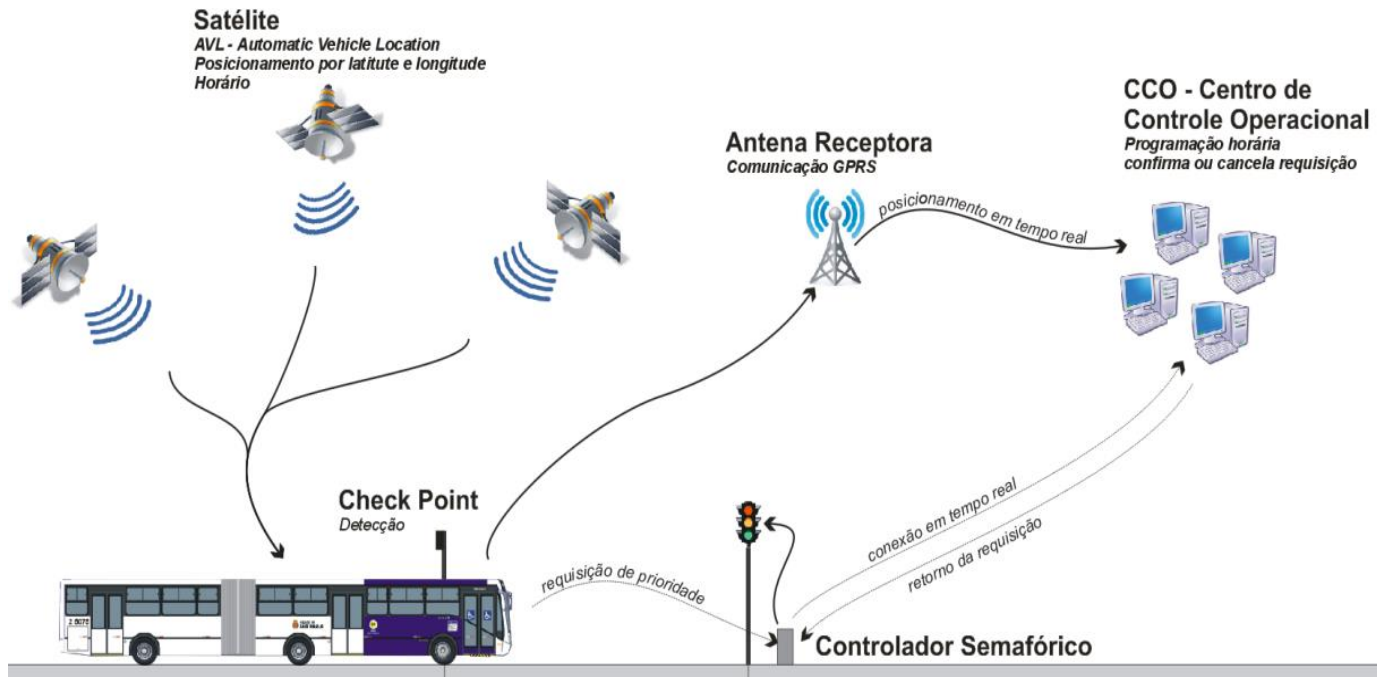


# REFERENCIAL TEÓRICO

## 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.**

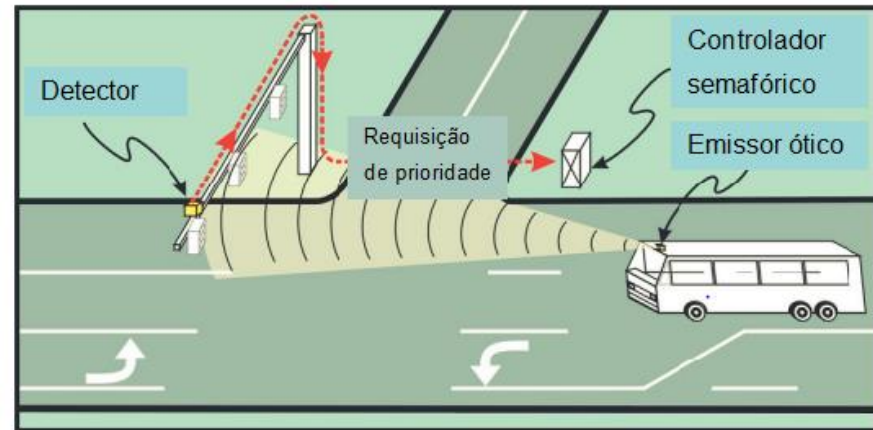
#### Características:

- ✓ 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

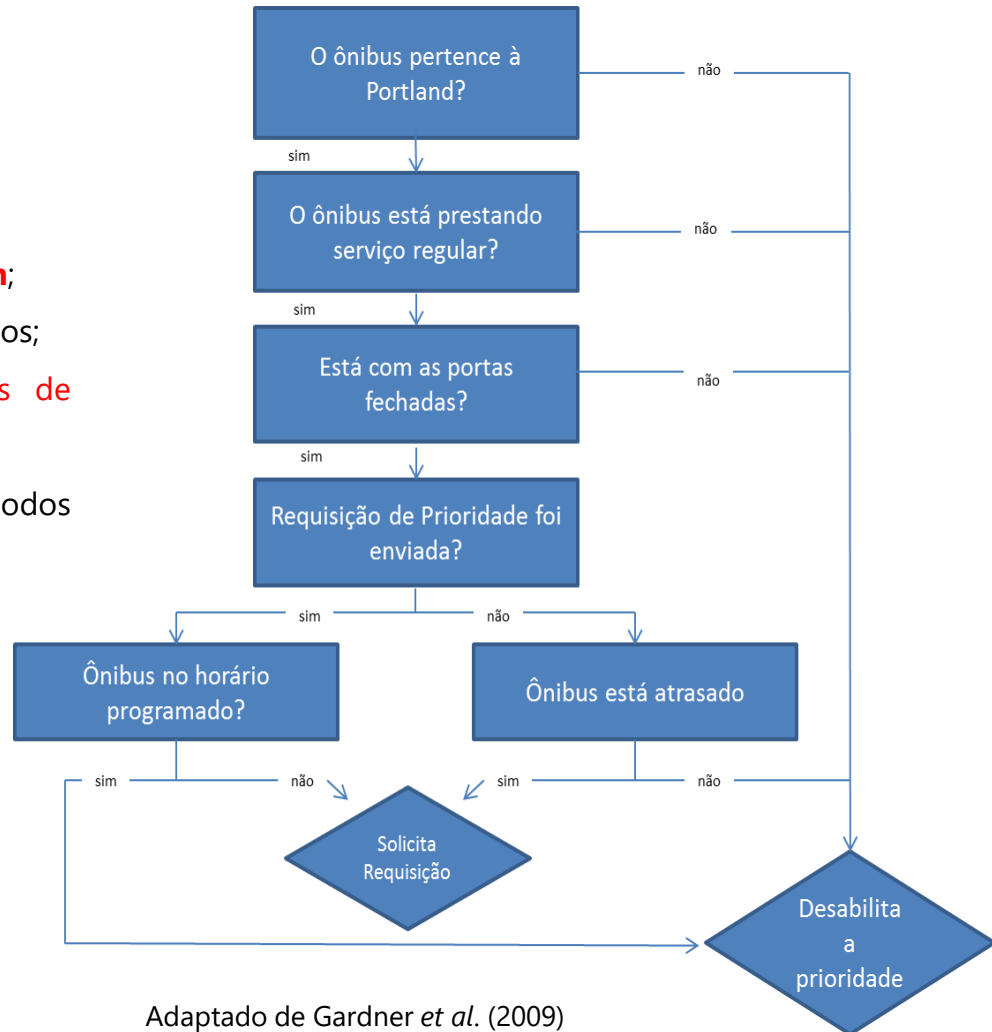
### Sistemas Inteligentes de Transportes

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).

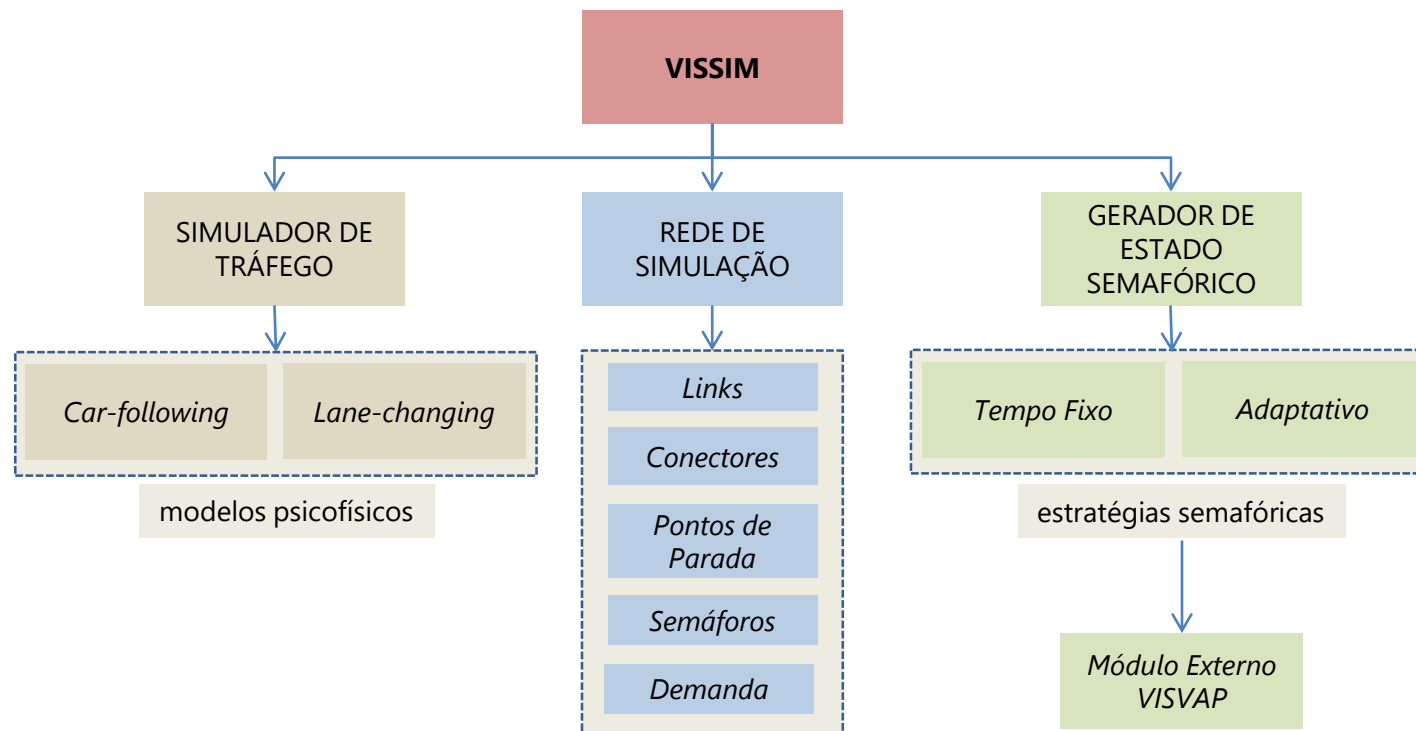
Apesar das particularidades o **TSP condicional geralmente resulta em:**

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

## REFERENCIAL TEÓRICO

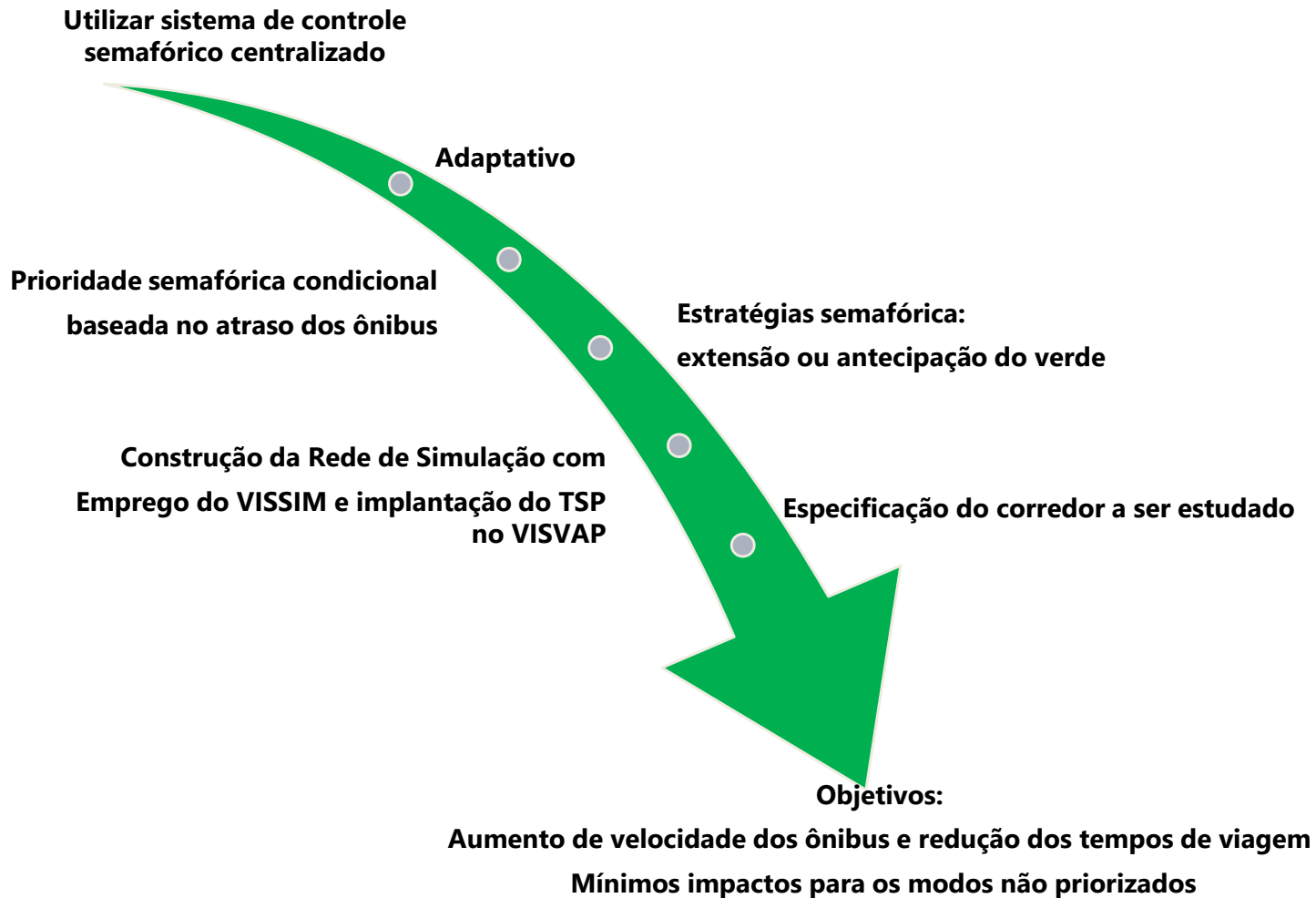
### Microsimulação (Ferramenta de Análise)

Características do software



# 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:

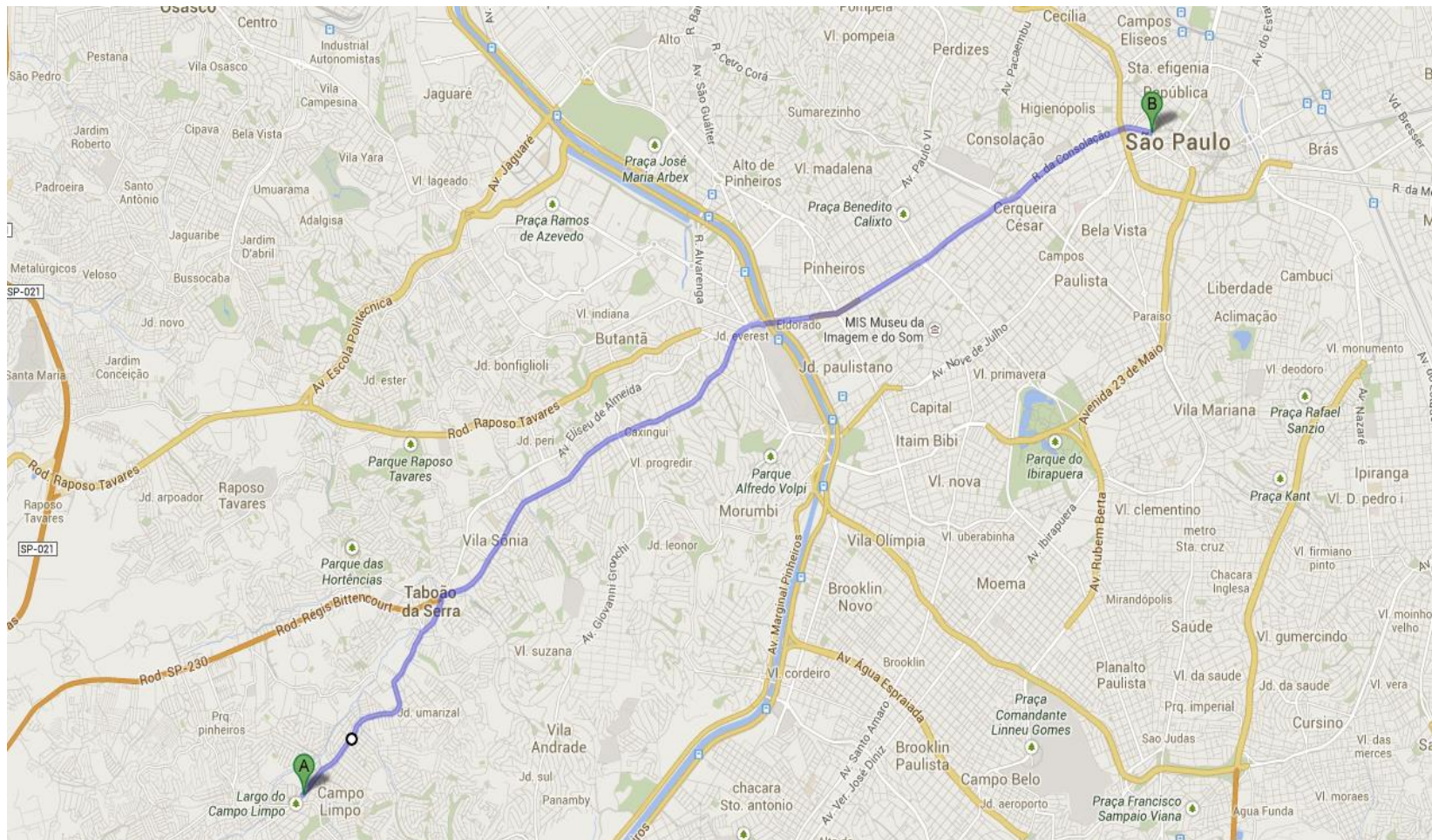
- ✓ Google Earth/Maps - Livre
- ✓ Google Fusion Tables – Livre
- ✓ PTV/VISSIM – Licença Acadêmica Temporária



# 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

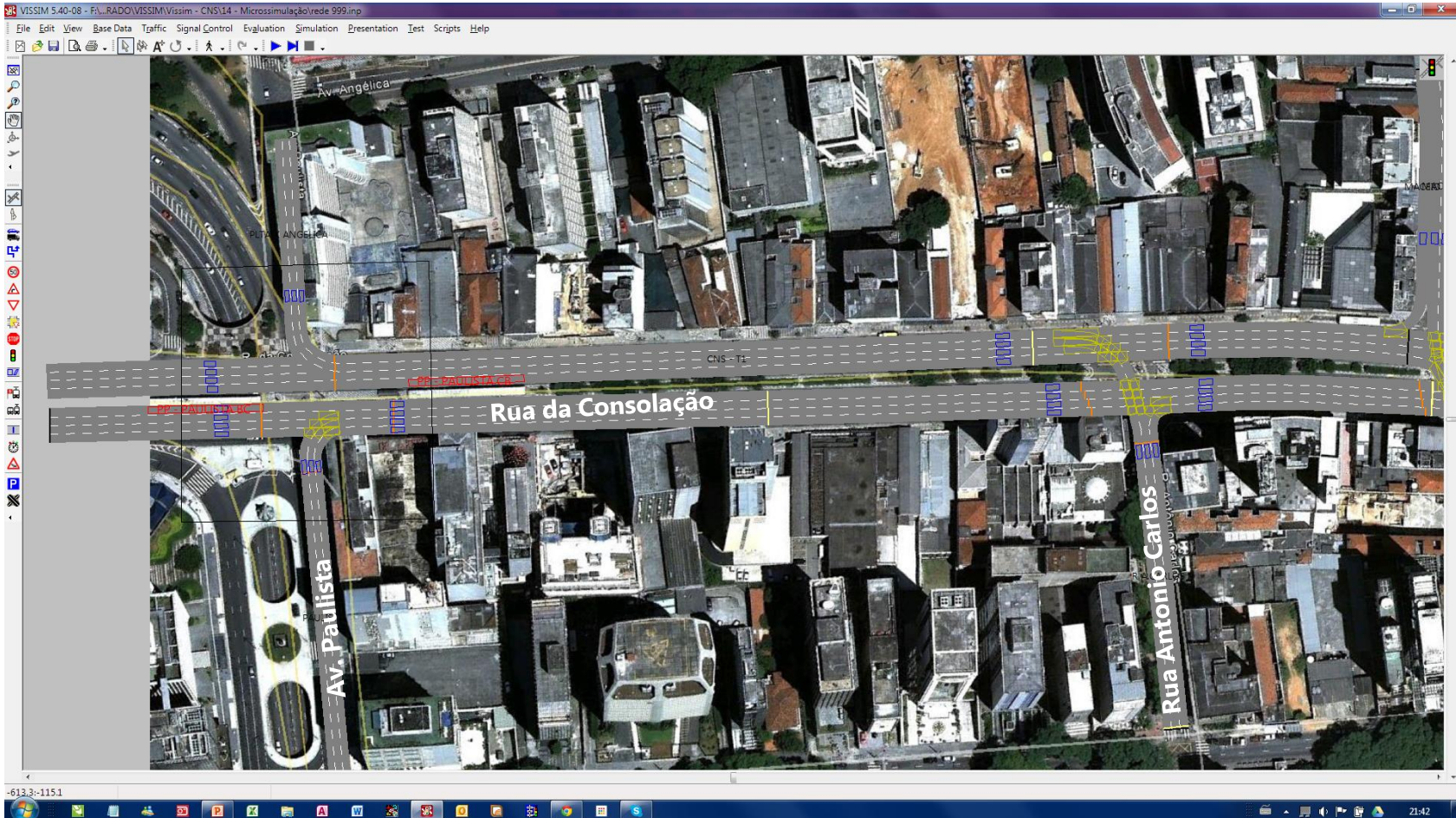
Extensão aproximada: 2km (cerca de 10% da extensão total do corredor)





# CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

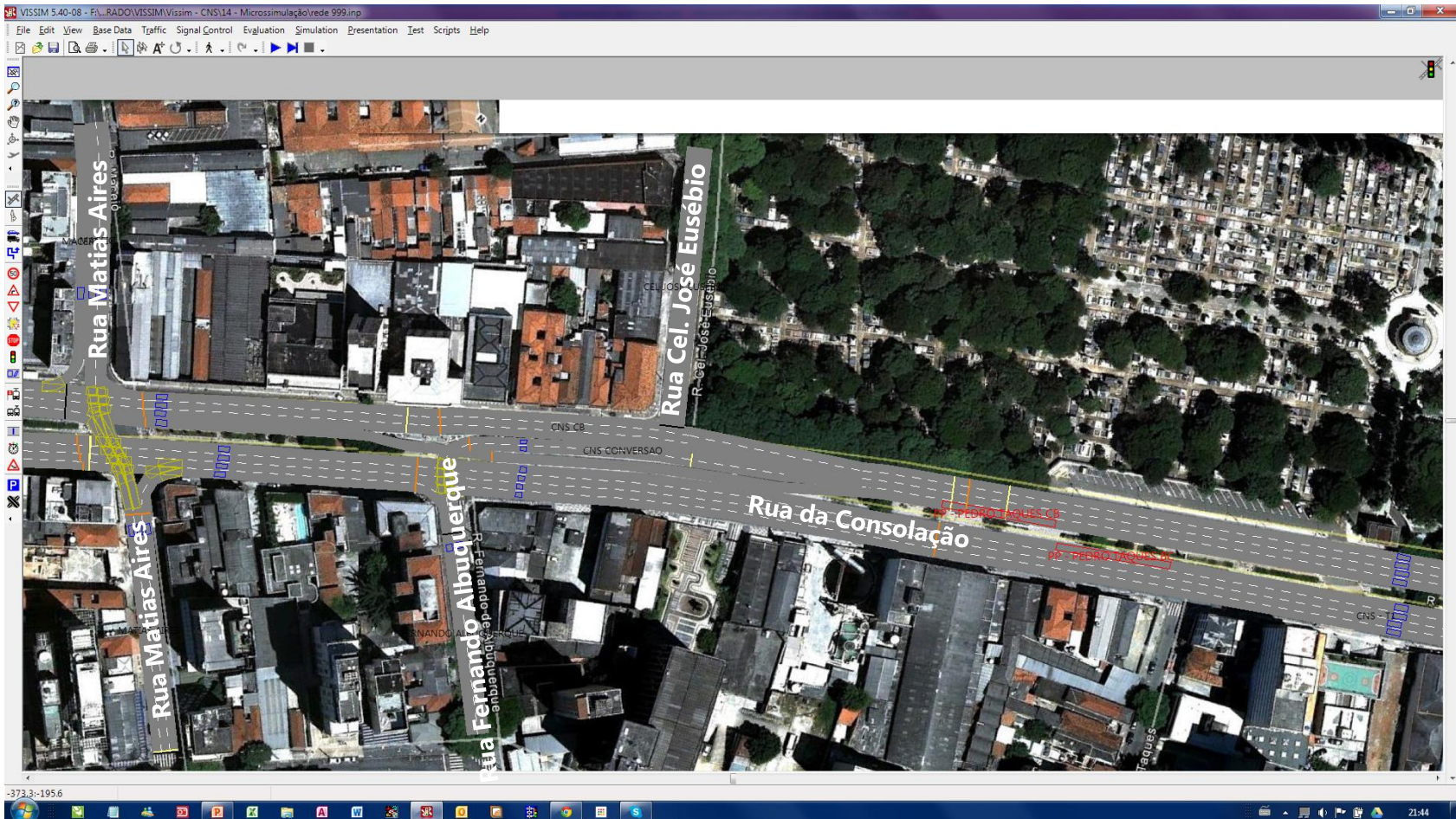
Elaboração da Rede Física: Links, conectores, pontos de parada, semáforos e outros elementos específicos





# CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

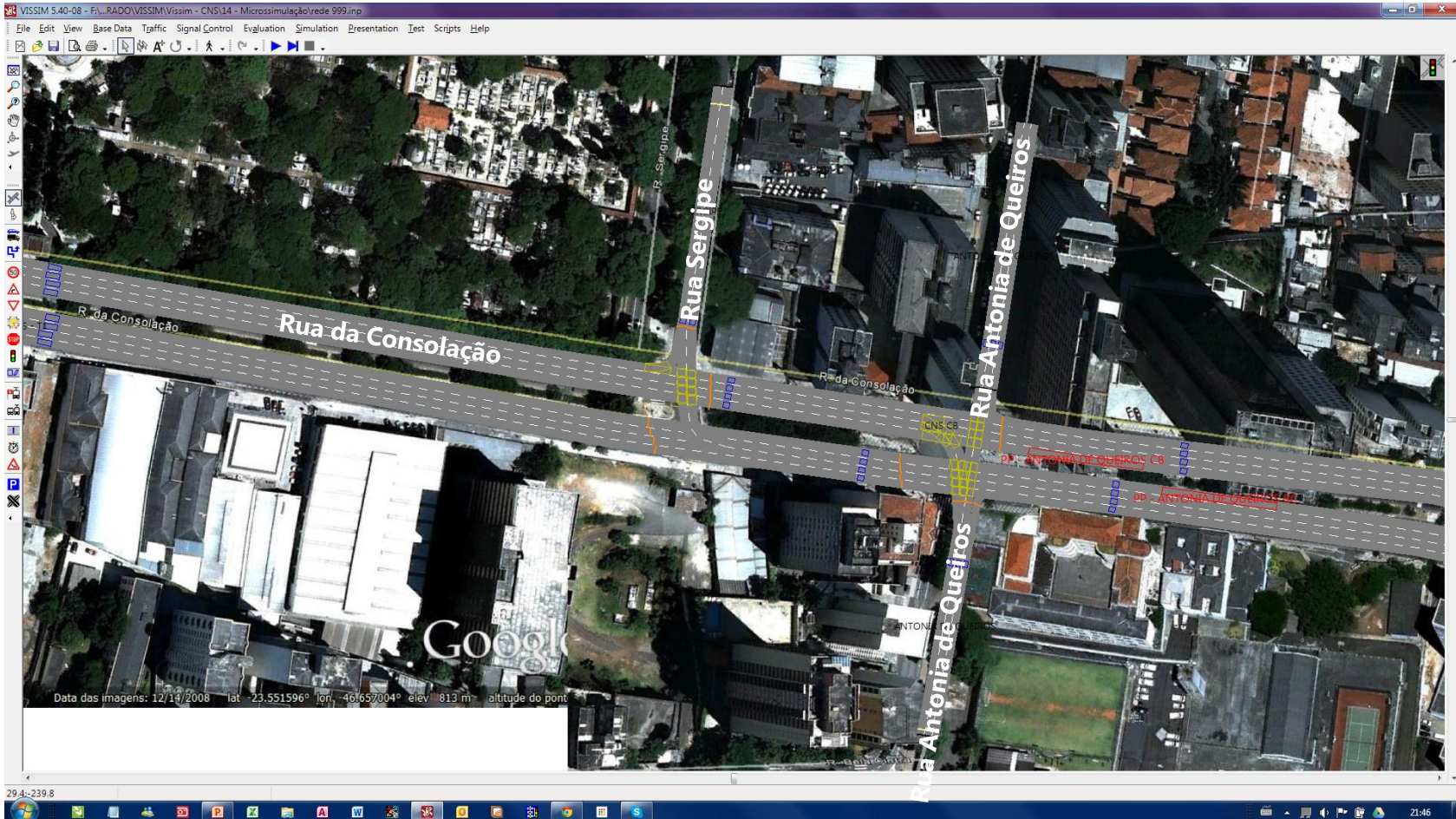
Elaboração da Rede Física: Links, conectores, pontos de parada, semáforos e outros elementos específicos





# CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

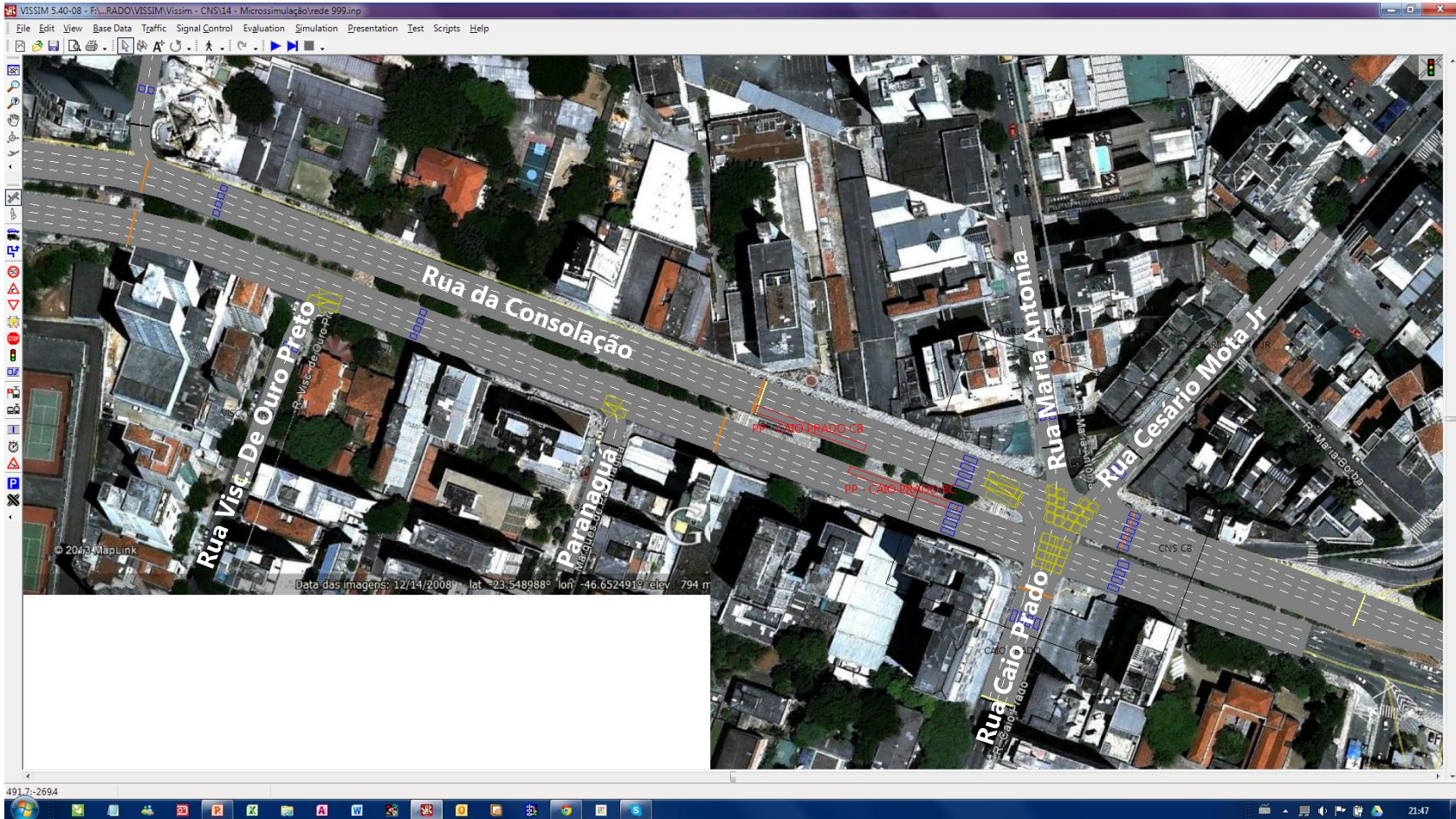
Elaboração da Rede Física: Links, conectores, pontos de parada, semáforos e outros elementos específicos





# CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

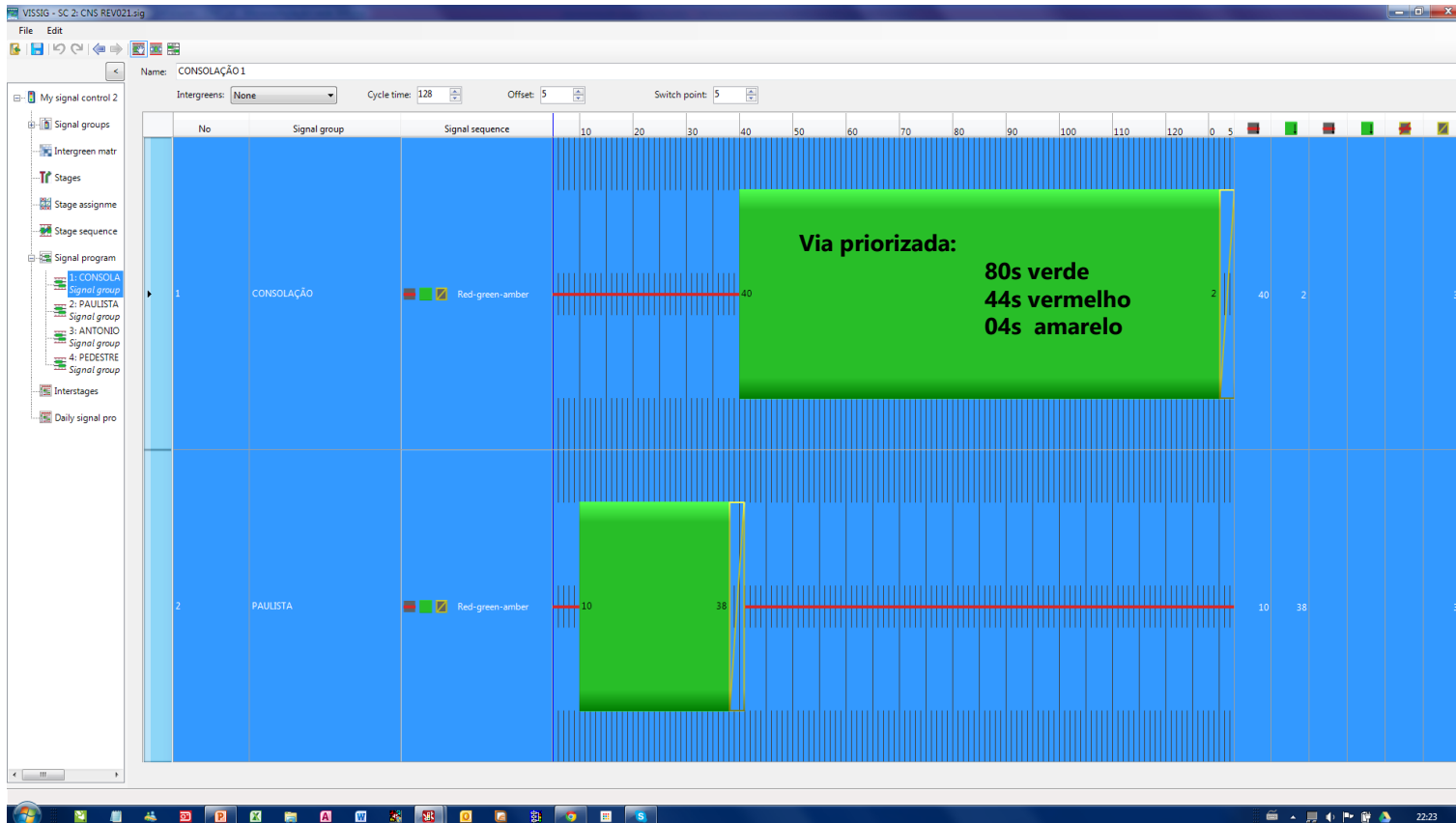
Elaboração da Rede Física: Links, conectores, pontos de parada, semáforos e outros elementos específicos





# 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
<b>Total Consolação</b>	<b>3+5+6</b>	<b>2514</b>	<b>227</b>	<b>25</b>	<b>3160</b>
Movimento	1	101	12	0	126
Movimento	7	2.330	202	28	3.116
<b>Total Consolação</b>	<b>1+7</b>	<b>2431</b>	<b>214</b>	<b>28</b>	<b>3242</b>

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

Vehicle Input (movimentos 1/2/3)

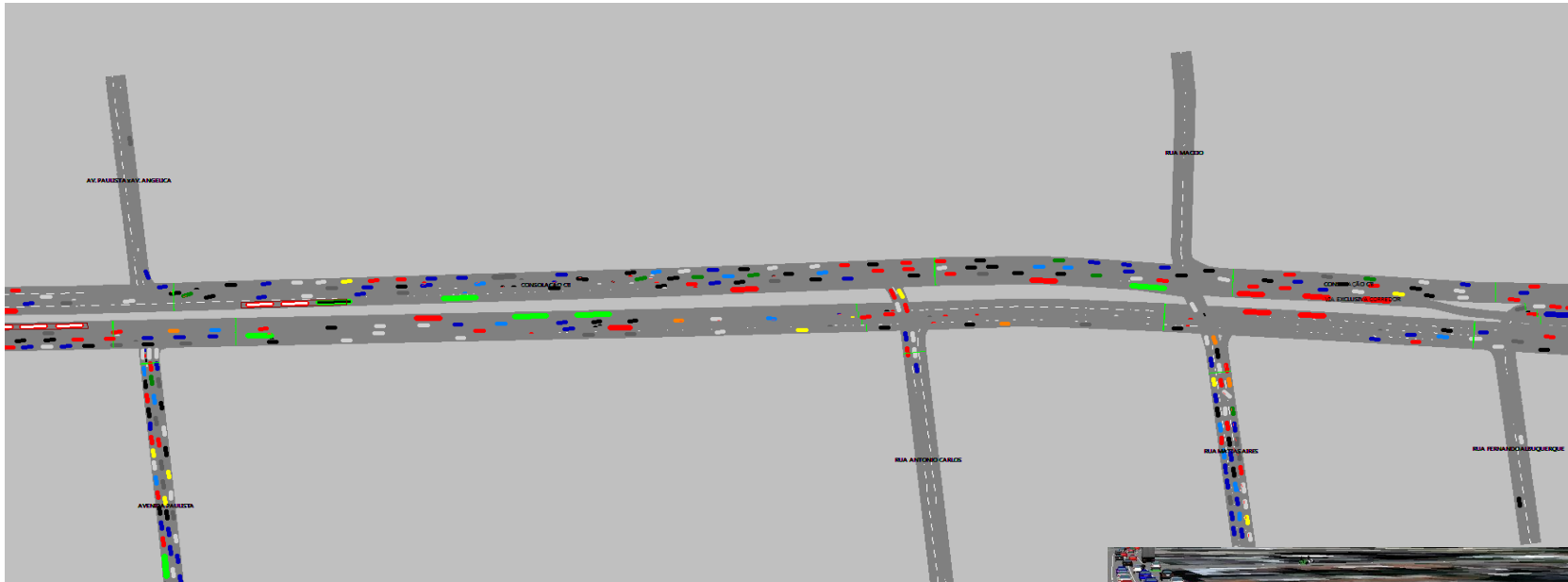
COMPOSIÇÃO 3+5+6	TIPO
AUTO	80%
BUS	7%
CAM	1%
MOTO	12%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

COMPOSIÇÃO 1+7	TIPO
AUTO	75%
BUS	7%
CAM	1%
MOTO	18%
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>

## 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.

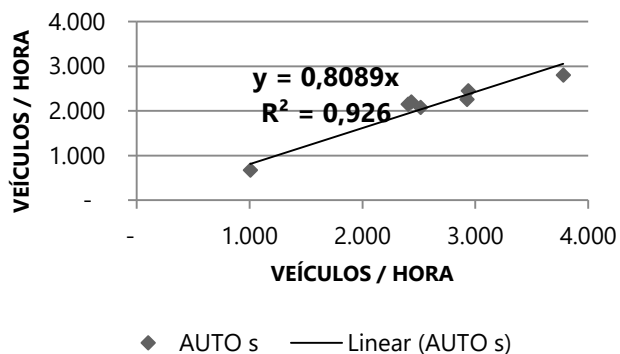
DATA COLLECTION	CONTAGEM CET (MOVIMENTOS)	AUTO	AUTO (S)	BUS	BUS (S)	MOTO	MOTO(S)	TOTAL	TOTAL(S)
13	BC (1+3)	2.402	2.150	194	145	591	503	3.204	2.798
17	BC (1+7)	2.431	2.199	214	145	569	521	3.242	2.865
31	BC (2+4)	2.935	2.449	168	141	649	576	3.772	3.166
21	CB (3+5+6)	2.514	2.079	227	148	394	401	3.179	2.628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

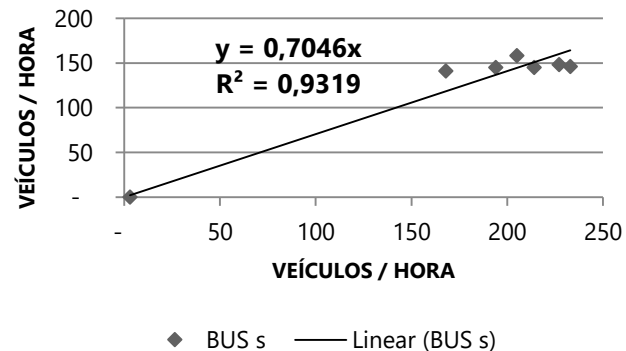
## Calibração

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

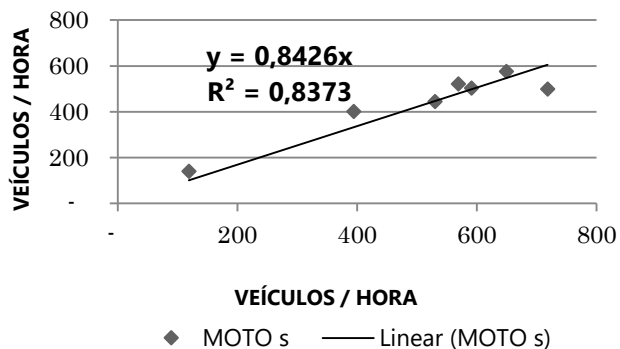
### Calibração auto



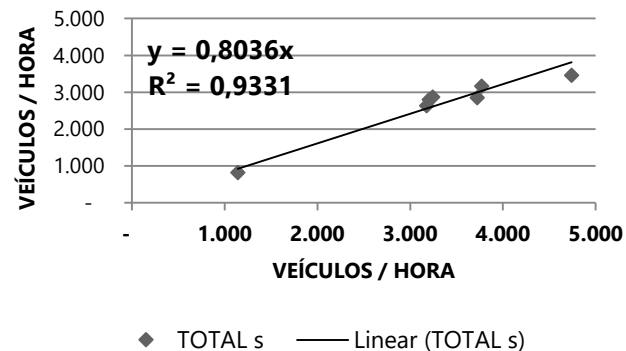
### Calibração ônibus



### Calibração moto



### Calibração todos modos



## CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

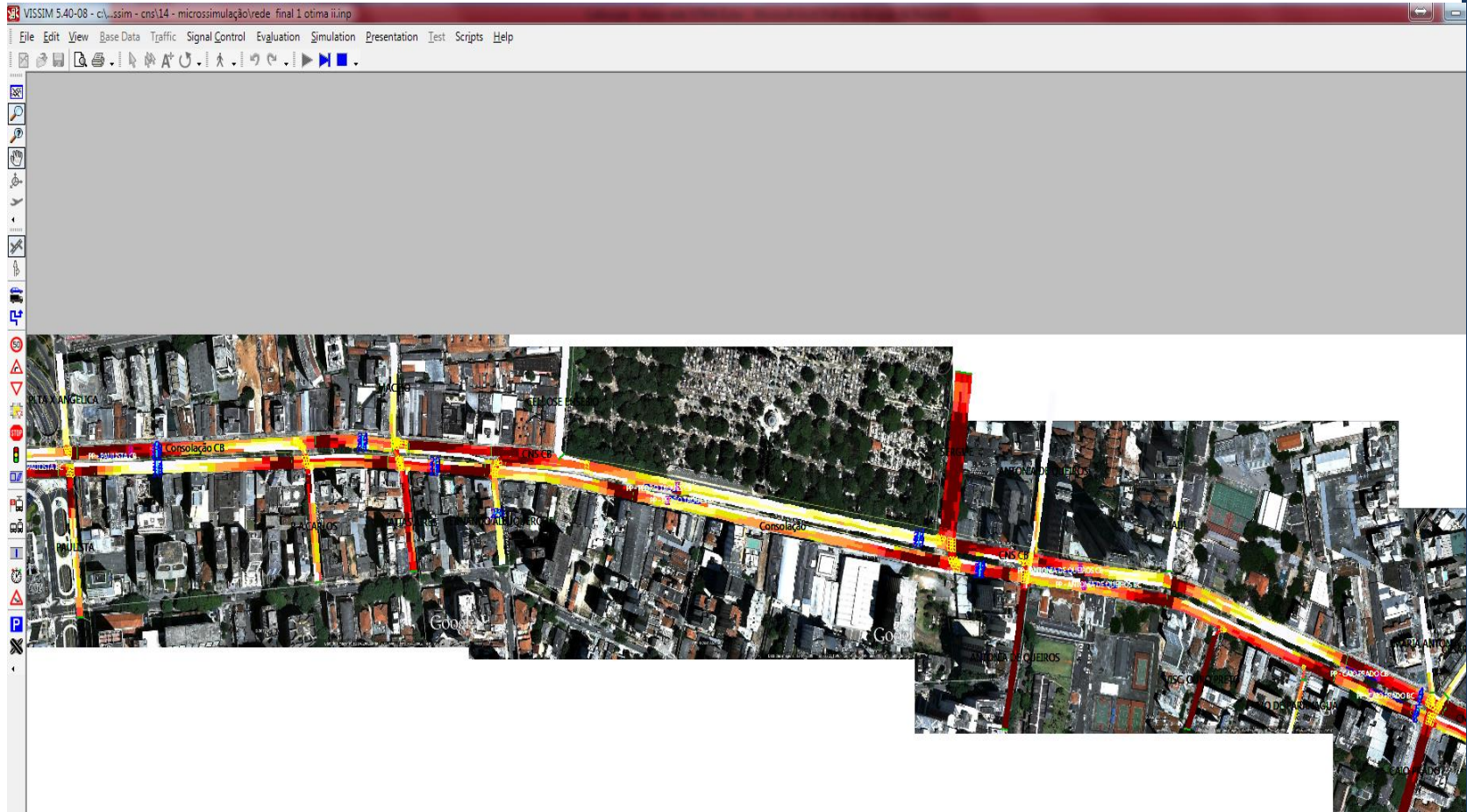
### Rede de Referência – Comparação dos Tempos médios

- ✓ 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.%
<b>Centro - Bairro</b>	<b>00:06:51</b>	00:06:07	12%	<b>0:09:42</b>	0:08:41	11%
<b>Bairro - Centro</b>	<b>00:06:39</b>	00:05:43	16%	<b>0:10:25</b>	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

## Elaboração dos Cenários – Localização dos Sensores na via



**Cenário 1**

**Cenário 2**

**Cenário 3**

**Cenário 4**

# CONSTRUÇÃO DA REDE DE SIMULAÇÃO: VISSIM

Disposição dos sensores: 1 sensor = 1 cenário



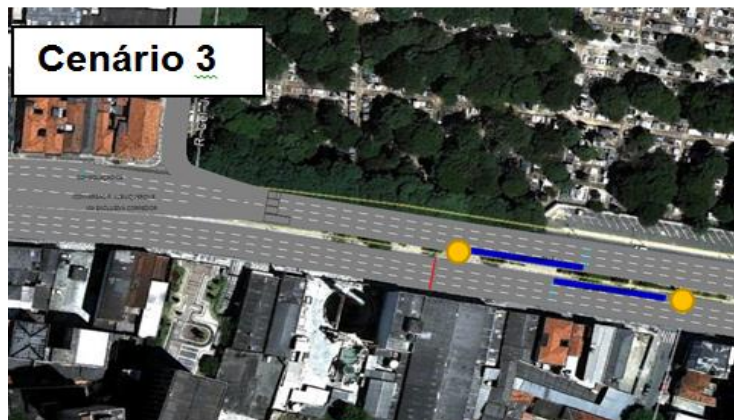
**Cenário 1**

Avenida Paulista e rua da Consolação;



**Cenário 2**

Rua Matias Aires e rua da Consolação;



**Cenário 3**

Rua Fernando de Albuquerque e Sergipe;



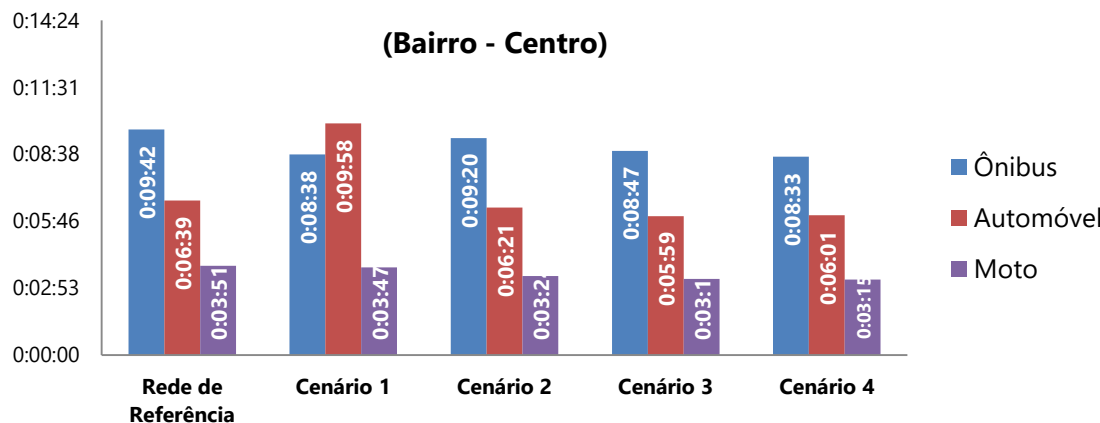
**Cenário 4**

Marques de Paranaguá e Caio Prado



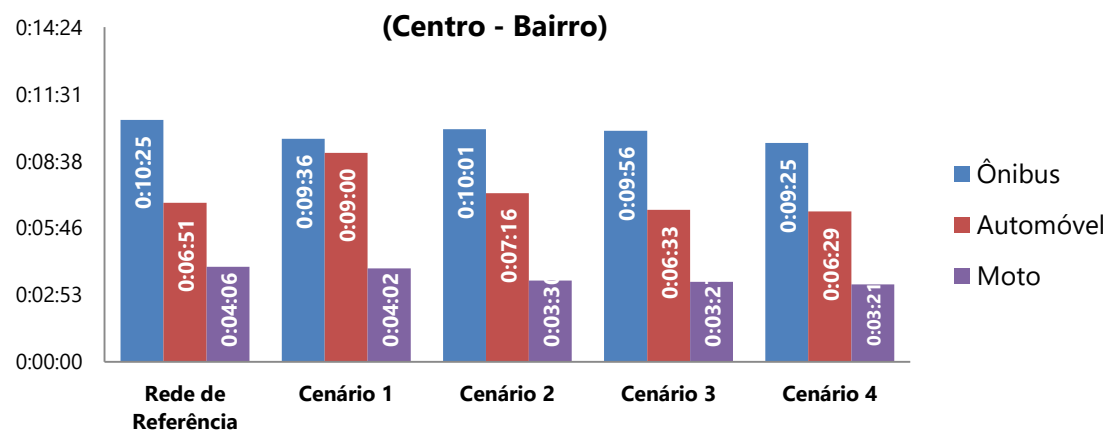
## ANÁLISES SOBRE OS RESULTADOS

### Comparativo entre os tempos médios de viagem (minutos)



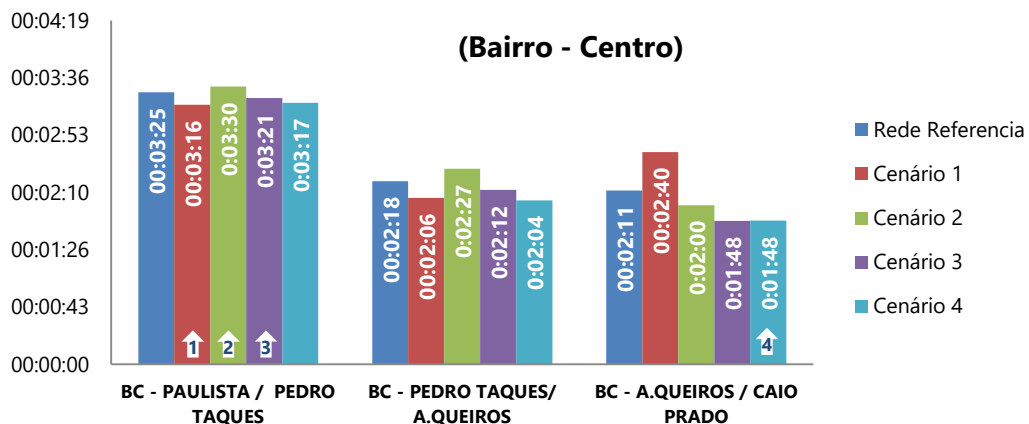
#### Resultados:

- ✓ 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.



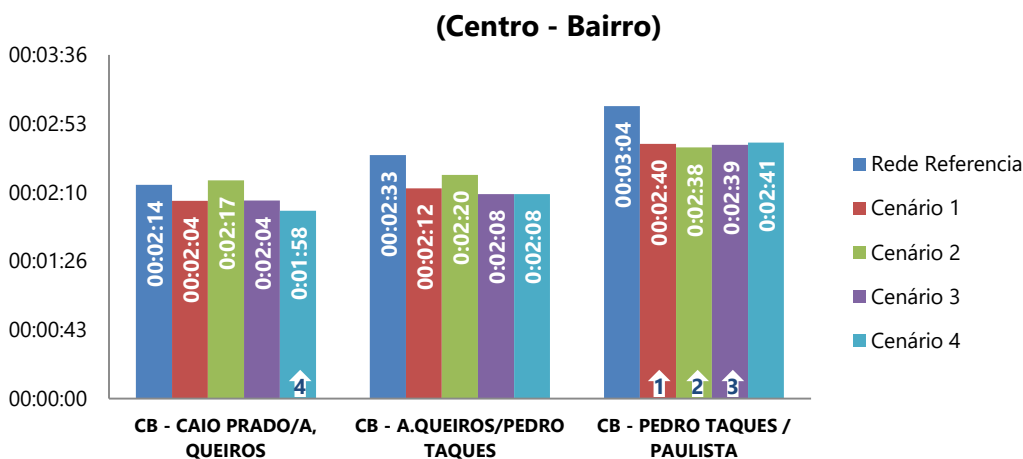
## ANÁLISES SOBRE OS RESULTADOS

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
<b>Referência</b>	<b>20,7</b>	<b>35,0</b>	<b>49,0</b>
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
<b>MÉDIA GERAL</b>	<b>22,2</b>	<b>37,5</b>	<b>49,7</b>

#### Tempos médios de viagem (%)

Rede	Automóvel	Moto	Ônibus
<b>Sentido Bairro - Centro</b>			
Cenário 1	+50%	-2%	-11%
Cenário 2	-5%	-12%	-4%
Cenário 3	-10%	-15%	-10%
Cenário 4	-9%	-15%	<b>-12%</b>
<b>Sentido Centro - Bairro</b>			
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	<b>07:38</b>	04:42	07:12	06:31	06:28
Rua Antônio Carlos	<b>00:57</b>	00:44	00:44	00:46	00:42
Rua Matias Aires	<b>01:30</b>	01:15	00:58	00:53	00:53
Rua Antônia de Queiros	<b>04:15</b>	03:26	02:45	02:51	02:54
Rua Visconde de Ouro Preto	<b>02:58</b>	02:47	00:00	02:51	03:02
Rua Caio Prado	<b>04:52</b>	02:51	02:17	02:25	02:25
Rua Sergipe - sentido Bairro	<b>05:15</b>	02:42	05:52	05:46	05:52
Rua Sergipe - sentido Centro	<b>01:09</b>	01:08	00:52	00:48	00:51
<b>Tempo Médio por Cenário</b>	<b>28:33</b>	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. 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.

## 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

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Microssimulação (Ferramenta de Análise)

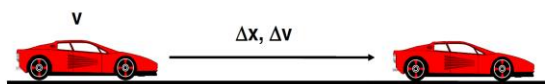
Características do software

#### Modelos Psicofísicos

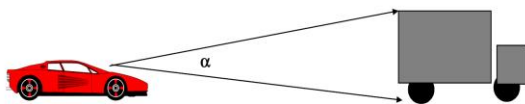
### Modelo *car-following*

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.

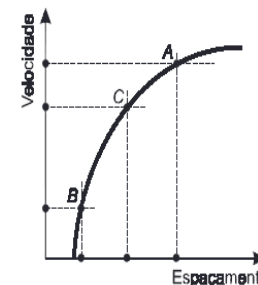
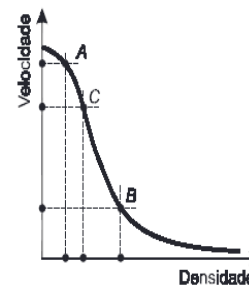
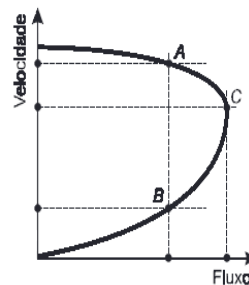


- Aspectos psicológicos:
- Velocidade desejada
  - Distâncias de segurança desejadas
- Aspectos físicos:
- Limites de percepção
  - Controle imperfeito de potência



(PTV , 2012)

### Relação fluxo - velocidade



(GOMES, 2004)

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Microssimulação (Ferramenta de Análise)

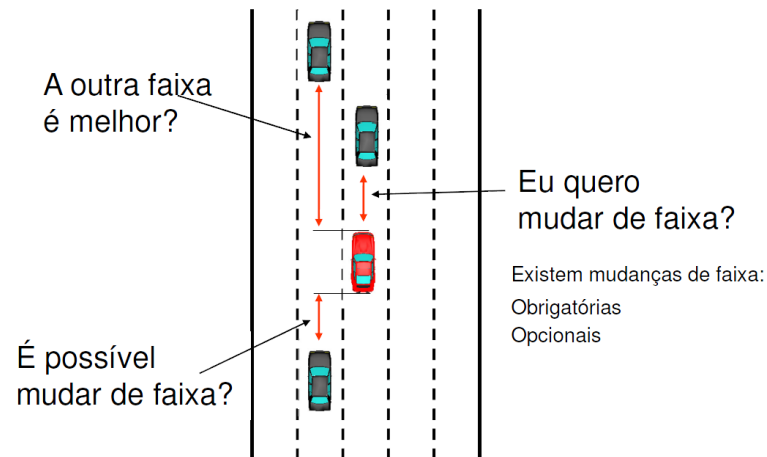
Características do software

#### 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)