

Sistemas “Inteligentes” de  
Transportes (ITS)  
[Intelligent Transport Systems]

# Parte A – Revisão de Modelos Macroscópicos

# Como aplicar simulações à decisões sobre ITS ?

- Representar o sistema de transportes em um modelo computacional (vias de transporte urbano e interurbano, redes de trem, metrô etc)
- Verificar se essa representação é precisa o suficiente
- Introduzir mudanças (ITS) que considera serem benéficas no modelo computacional
- Simular o modelo com as mudanças feitas e coletar resultados (índices significativos)
- Comparar as diferentes soluções através de cenários
- Adotar a solução mais eficaz (a que reduza mais o congestionamento, a mais barata, a mais rápida ou, ainda, a que combine melhor esses benefícios na quantidade desejada)

# “Três” abordagens em simulação

- Para a simulação de tráfego e transporte público podem-se contemplar “três” tipos de abordagem, de acordo com o nível de detalhamento e abrangência da simulação (Poyares, 2000; TRB, 2000):
  - **Macroscópica**,
  - Mesoscópica e
  - **Microscópica**

POYARES, C. N. **Critérios para Análise dos Efeitos de Políticas de Restrição ao Uso de Automóveis em Áreas Centrais**. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2000

TRB. **Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCQSM)**, 3ª Edição. Disponível em <http://www.trb.org/Main/Blurbs/169437.aspx>

# Modelos Computacionais de Simulação de Tráfego

MODELOS	APLICAÇÃO
Macroscópico	Planejamento de intervenções estratégicas
	Simulação de médias/grandes áreas
	Implementação de novas vias
	Duplicação de vias
Mesoscópicos	Análises de intervenções táticas
	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: Peron (2015), adaptado de Maia (1978) e Medeiros (2012)

# Planejamento de Transportes (\*)

- Nível Estratégico
  - Garantir que a oferta de transportes esteja em um nível de serviço adequado para um período de longo prazo
  - Necessita de dados que caracterizem a região
    - população
    - fatores econômicos e
    - pesquisas de origem e destino (O/D)
  - Adequar a oferta de transporte à demanda da população
- Neste nível também se encontram os **modelos macroscópicos de tráfego**
  - Permitem simular as políticas e estratégias que os gestores pretendem implantar, avaliando seus resultados e julgando sua viabilidade

(\*) Vânia Barcellos Gouvêa Campos. Planejamento de Transportes – Conceitos e Modelos

# Modelos macroscópicos de tráfego

- Principais tipos de aplicações:
  - implementação de novas vias de tráfego [Lab ITS12]
  - duplicação de vias e
  - implantação de corredores exclusivos de transporte público (AQUINO, 2013)
- Softwares de Macromodelos mais conhecidos:
  - TransCAD
  - AIMSUN
  - EMME e
  - VISUM

# Modelos de Simulação de Tráfego: Macromodelos

- O fluxo é tratado como fluido e o modelo segue a base das leis da hidrodinâmica e as equações usadas descrevem o fenômeno das **ondas de choque do tráfego**
- O **fluxo é tratado de modo indivisível**
- São utilizados nos **estudos de planejamento de longo prazo** e em grandes redes



# Modelos macroscópicos de tráfego

- Sua lógica consiste em definir áreas de interesse num mapa e indicar as vias desejadas para se analisar o tráfego de veículos
- **Pode-se observar**
  - o fluxo total desejado entre as áreas de interesse
  - o tempo necessário para chegar a qualquer região do mapa
    - partindo de um ponto pré-definido
- De forma específica (\*):
  - é possível medir velocidades, densidades e fluxos **de forma agregada** e relativa aos **valores médios dos vários arcos / links** (considerados constantes ao longo do mesmo), chegando a uma representação estática da rede
    - um único estado da rede (“**foto**”) // **Macrossimulação x MacroModelo**
    - avaliado a partir de determinadas condições específicas
      - que geralmente dizem respeito as características topológicas e viárias da rede

(\*): AQUINO, 2013; ARIOTTI et al., 2004; MAIA, 2007

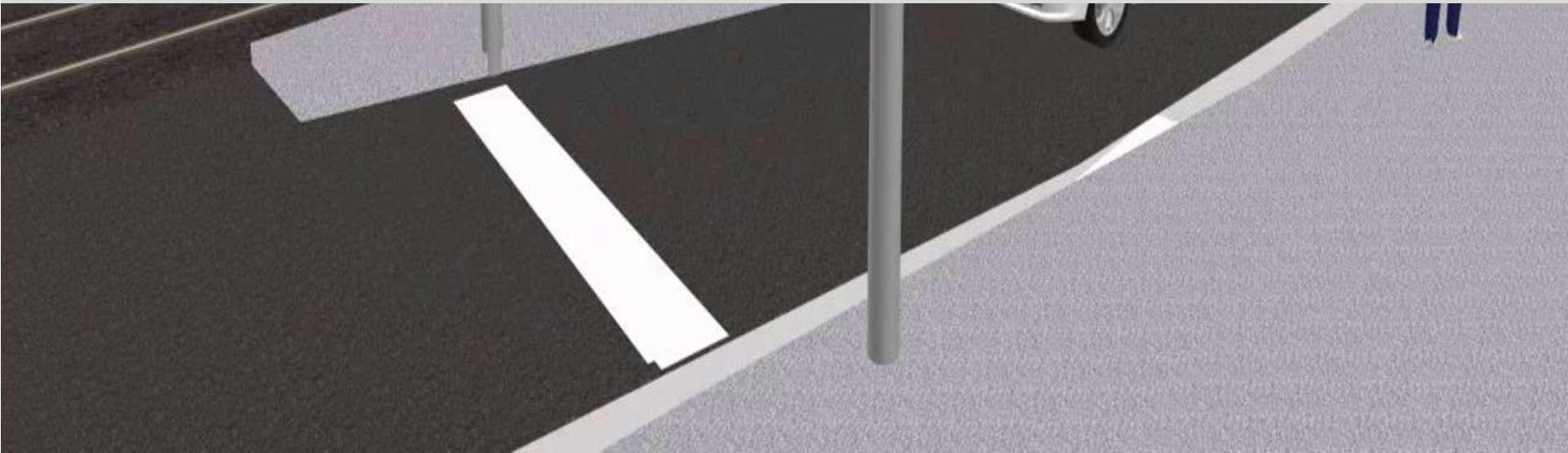






**Macro simulation with**

**PTV VISUM**

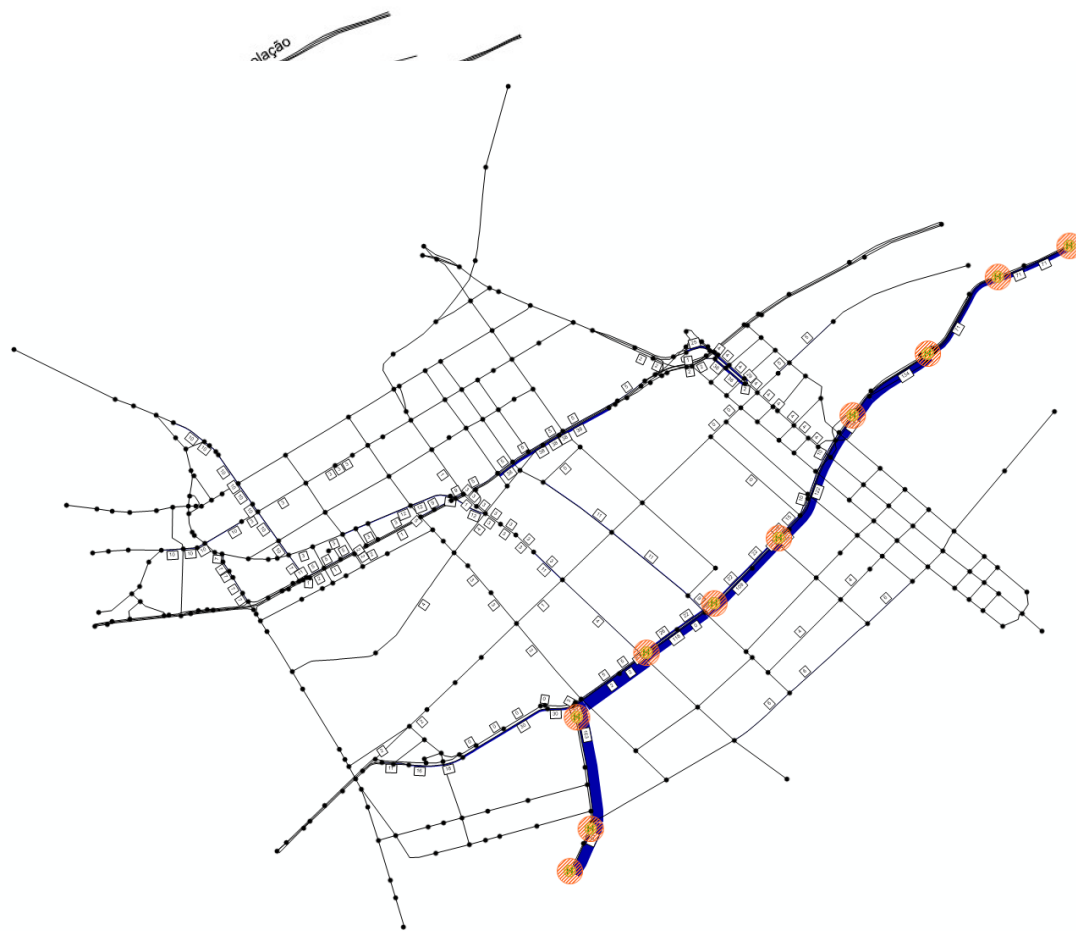
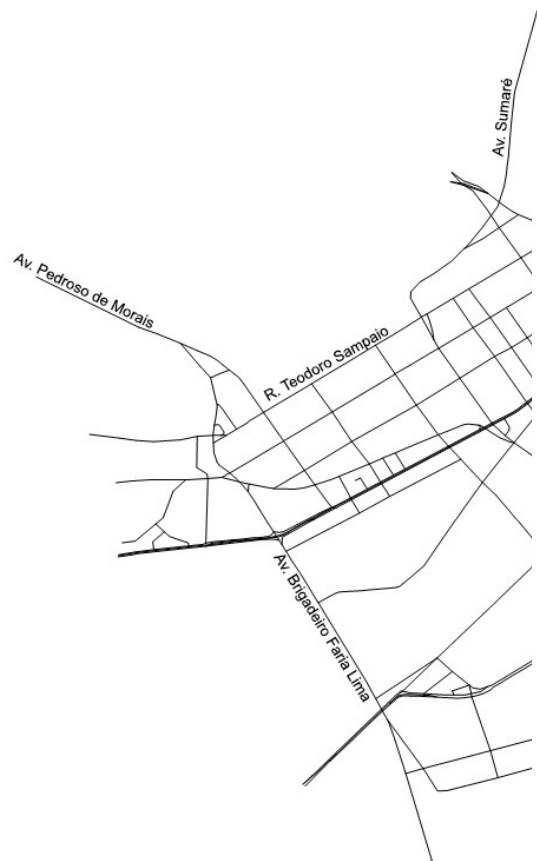


# Corredor de ônibus Santo Amaro – Nove de Julho

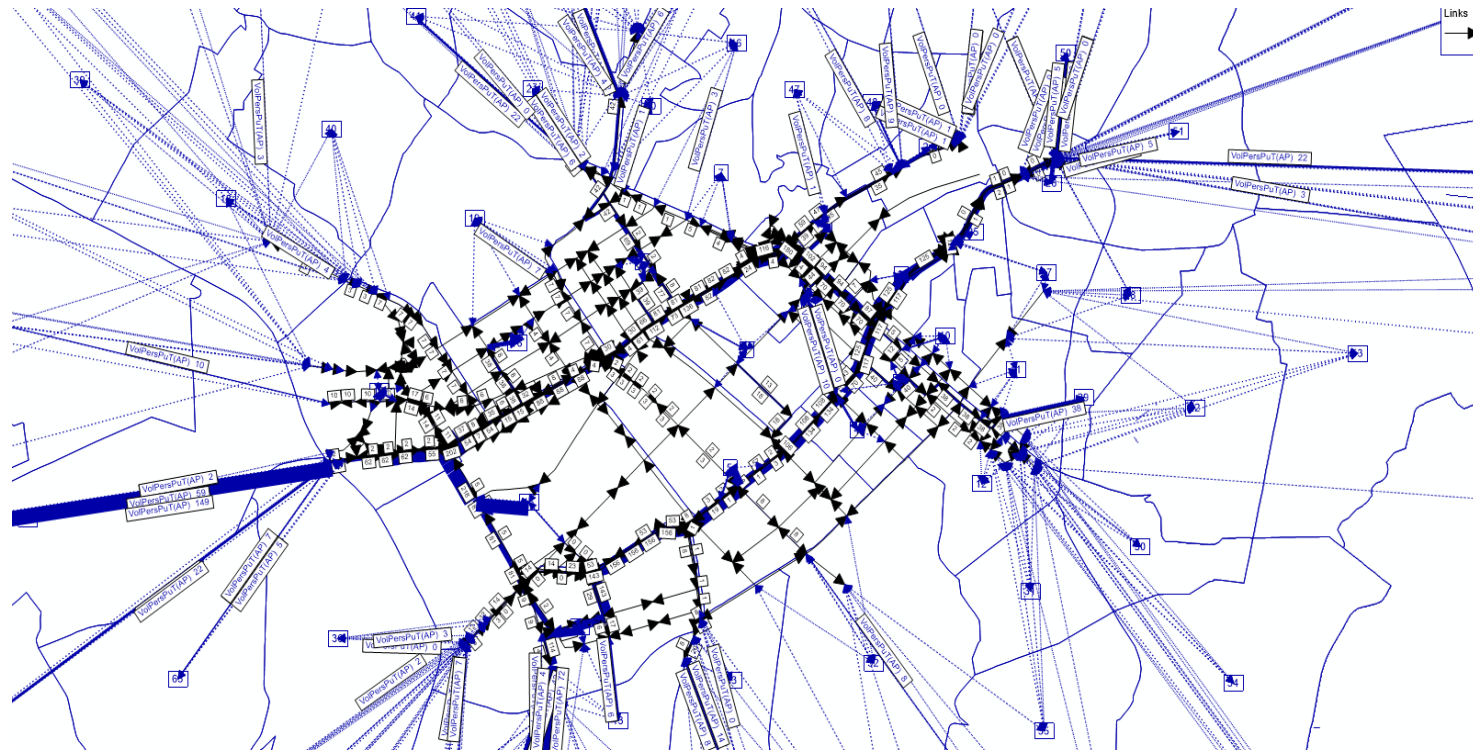
Corredor	Quantidade de PMV's	Exibe Mensagem de Previsão
Pirituba/Lapa/Centro	60	SIM
<b>Campo Limpo/Rebouças/Centro</b>	<b>16</b>	SIM
Parelheiros/Rio Bonito/Santo Amaro	7	NÃO
<b>Santo Amaro/9 de Julho/Centro</b>	<b>58</b>	SIM
Expresso Tiradentes	8	SIM
<b>TOTAL</b>	<b>149</b>	

Fonte: Informe SPTrans, 2009

# Macromodelo de Simulação



# Macromodelo de Simulação



# Macromodelo de Simulação





# Macromodelo de Simulação



- Network
- Nodes
  - Links**
  - Turns
  - Zones
  - Connectors
  - Main nodes
  - Main turns
  - Main zones
  - Territories
  - OD pairs
  - Main OD pairs
  - PrT paths
- 
- POIs
  - GIS objects
  - Screenlines

Quick view (Links)

Count: 1

No	12235
FromNodeNo	743
ToNodeNo	700
TypeNo	3
TSysSet	B,C,W
Length	0.083km
CapPrT	24000
VOPrT	60km/h
VolVehPrT(AP)	105612



Edit link

Number: 12235

From node: 743

To node: 700

Type: 03 Arterial 2

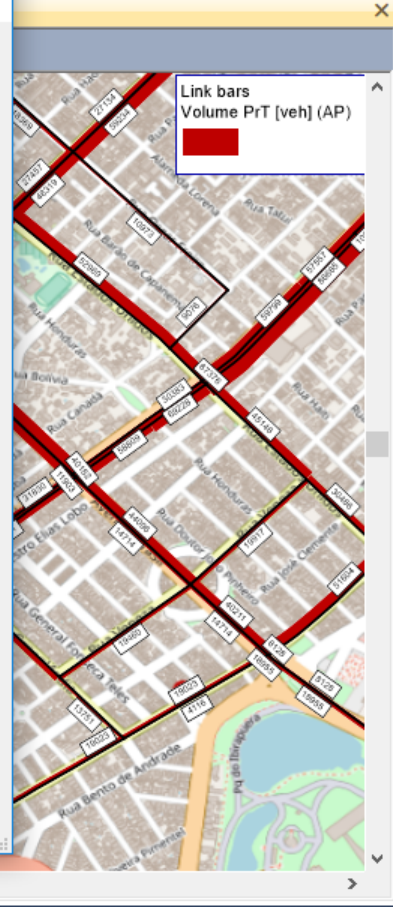
Set standard values for this link type

Transport systems: B,C,W

Basis	PrT TSys	PrT TSys	Congestion	DUE	ICA	User-defir
Number: 10		C				
Permitted		<input checked="" type="checkbox"/>				
v0		60km/h				
vCur		1km/h				
t0		5s				
tCur		4min 45s				
Volume		105612.000				
Cross-section		161671.685				
Impedance		28542				
AddVal		0				
Toll		0.00				

Transfer changes to reverse direction

Opposite OK Cancel

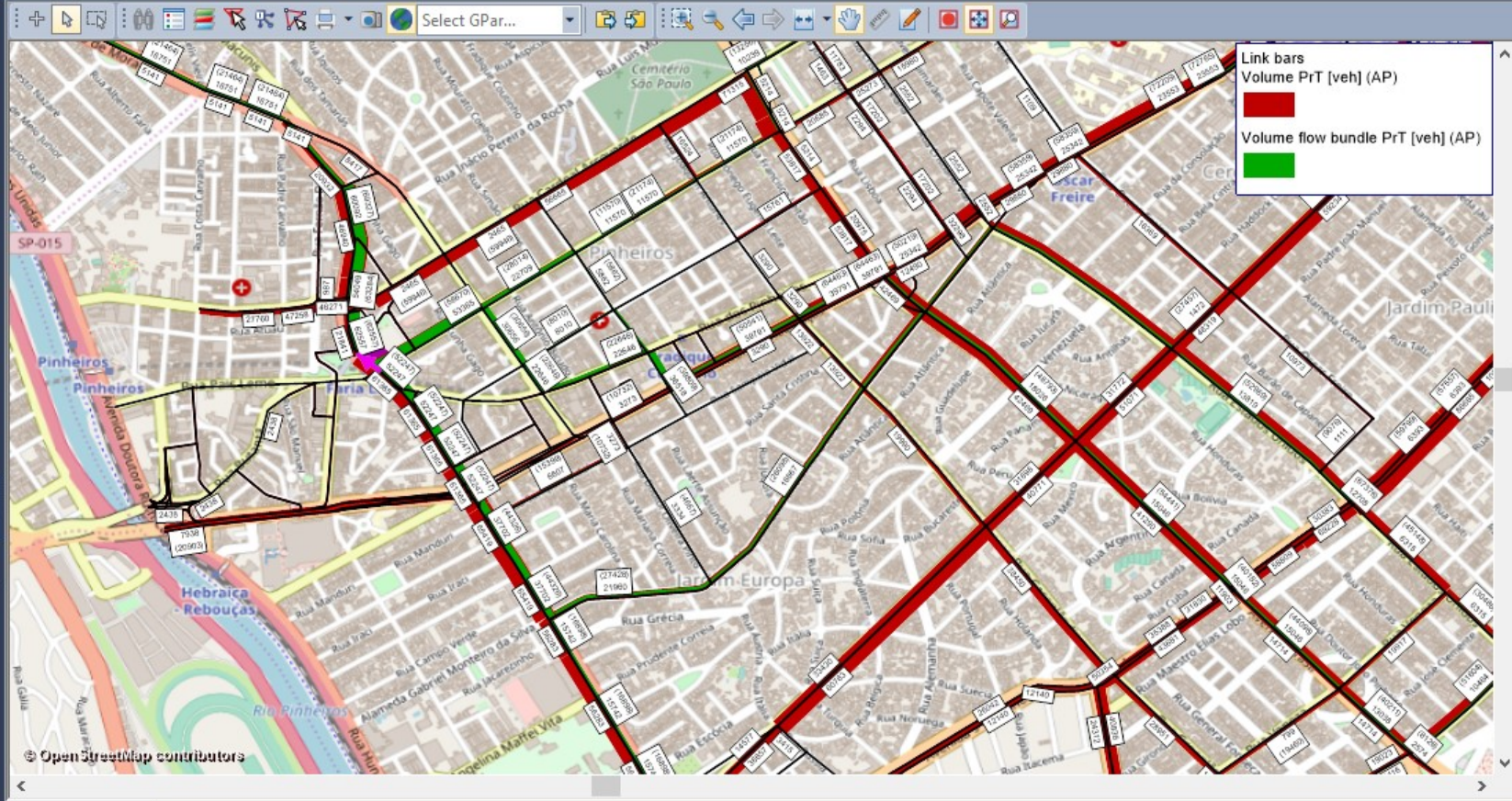


- Network
- Nodes
- Links
- Turns
- Zones
- Connectors
- Main nodes
- Main turns
- Main zones
- Territories
- OD pairs
- Main OD pairs
- PrT paths
- POIs
- GIS objects
- Screenlines

Network x Matrices

Quick view

Network editor (Flow bundle / Move window section)



**Development of metodological  
segment choice depending on his  
adequability to the cicloviary system**

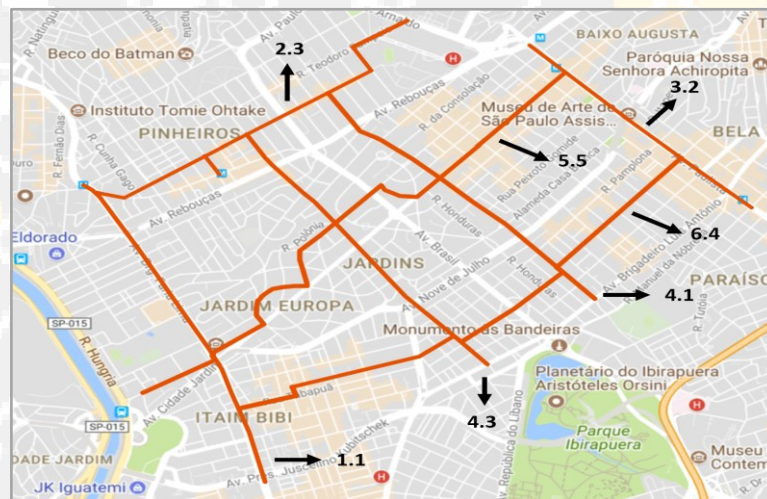
2017

FIORI, C.; MONTEIRO, J. H. M.;  
SHINYE, L. T.; FALLAGUASTA, N. L.

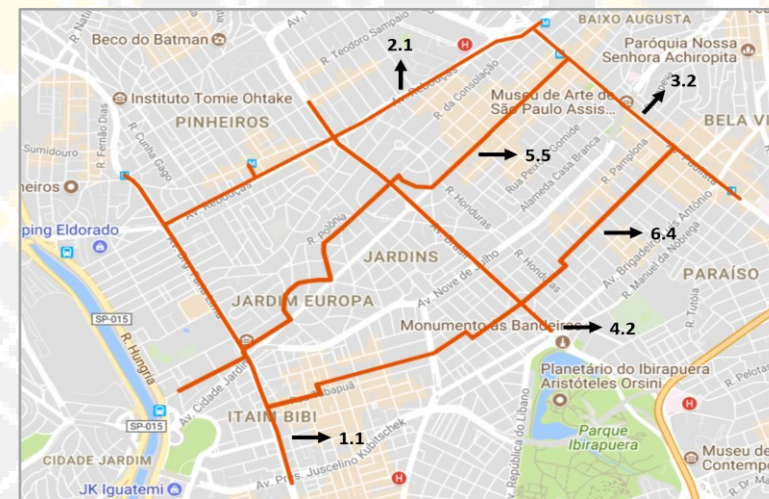
# Resultados e configuração da rede ótima

Classificação	Trecho 1	Trecho 2	Trecho 3	Trecho 4	Trecho 5	Trecho 6
1º	1.1	2.3	3.2	4.1	5.5	6.4
2º	1.4	2.1	3.1	4.2	5.2	6.3
3º	1.2	2.2	3.5	4.3	5.1	6.2
4º	1.3	2.4	3.4		5.3	6.1
5º			3.3		5.4	

Cenário A



Cenário B



# Macrossimulação dos resultados



*Alocações dos cenários referencial e A*



*Diferença entre as alocações dos cenários referencial e A*



- Network
- Nodes
  - Links**
  - Turns
  - Zones
  - Connectors
  - Main nodes
  - Main turns
  - Main zones
  - Territories
  - OD pairs
  - Main OD pairs
  - PrT paths
- 
- POIs
  - GIS objects
  - Screenlines

Quick view (Links)

Count: 1

No	12235
FromNodeNo	743
ToNodeNo	700
TypeNo	3
TSysSet	B,C,W
Length	0.083km
CapPrT	24000
VOPrT	60km/h
VolVehPrT(AP)	105612



Edit link

Number: 12235

From node: 743

To node: 700

Type: 03 Arterial 2

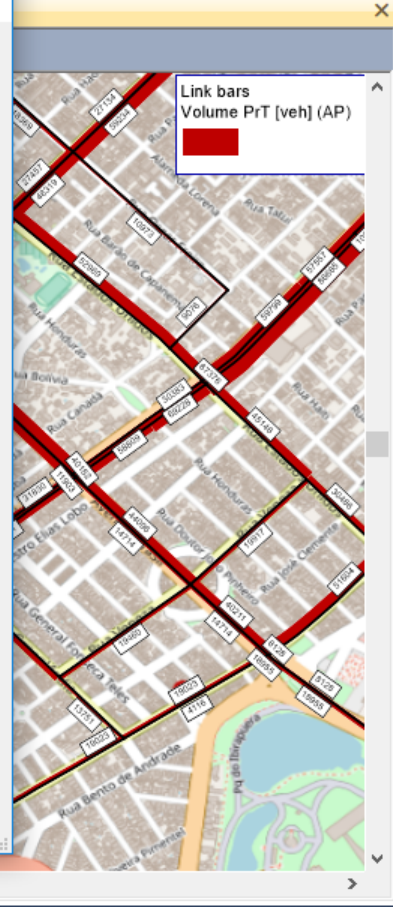
Set standard values for this link type

Transport systems: B,C,W

Basis	PrT TSys	PrT TSys	Congestion	DUE	ICA	User-defir
Number: 10		C				
Permitted		<input checked="" type="checkbox"/>				
v0		60km/h				
vCur		1km/h				
t0		5s				
tCur		4min 45s				
Volume		105612.000				
Cross-section		161671.685				
Impedance		28542				
AddVal		0				
Toll		0.00				

Transfer changes to reverse direction

Opposite OK Cancel





# Parte B – Construção da Rede no Macromodelo

# Modelagem macroscópica de tráfego: construção da rede viária

- Para começar a simular uma rede, assim como no software VISSIM, primeiro é necessário construí-la
- Os elementos de rede são “parecidos” com os do VISSIM, no entanto, existem alguns a mais

1º) Sobre uma imagem de "*background*" ou "imagem de fundo", importada de serviços de mapas como o **Open Street Maps**, usam-se três elementos: *links, nós, e turns*

2º) Criam-se **zonas**, polígonos responsáveis por representar grandes regiões da área de simulação

- Para efeitos de simulação, a zona é representada com todas as suas propriedades por um elemento pontual chamado centróide
- Todo o tráfego oriundo e entrante, numa zona, é carregado em seu centróide
- Conecta-se, através do objeto "conectores", o centróide aos nós que representam adequadamente a origem do tráfego em cada uma das zonas

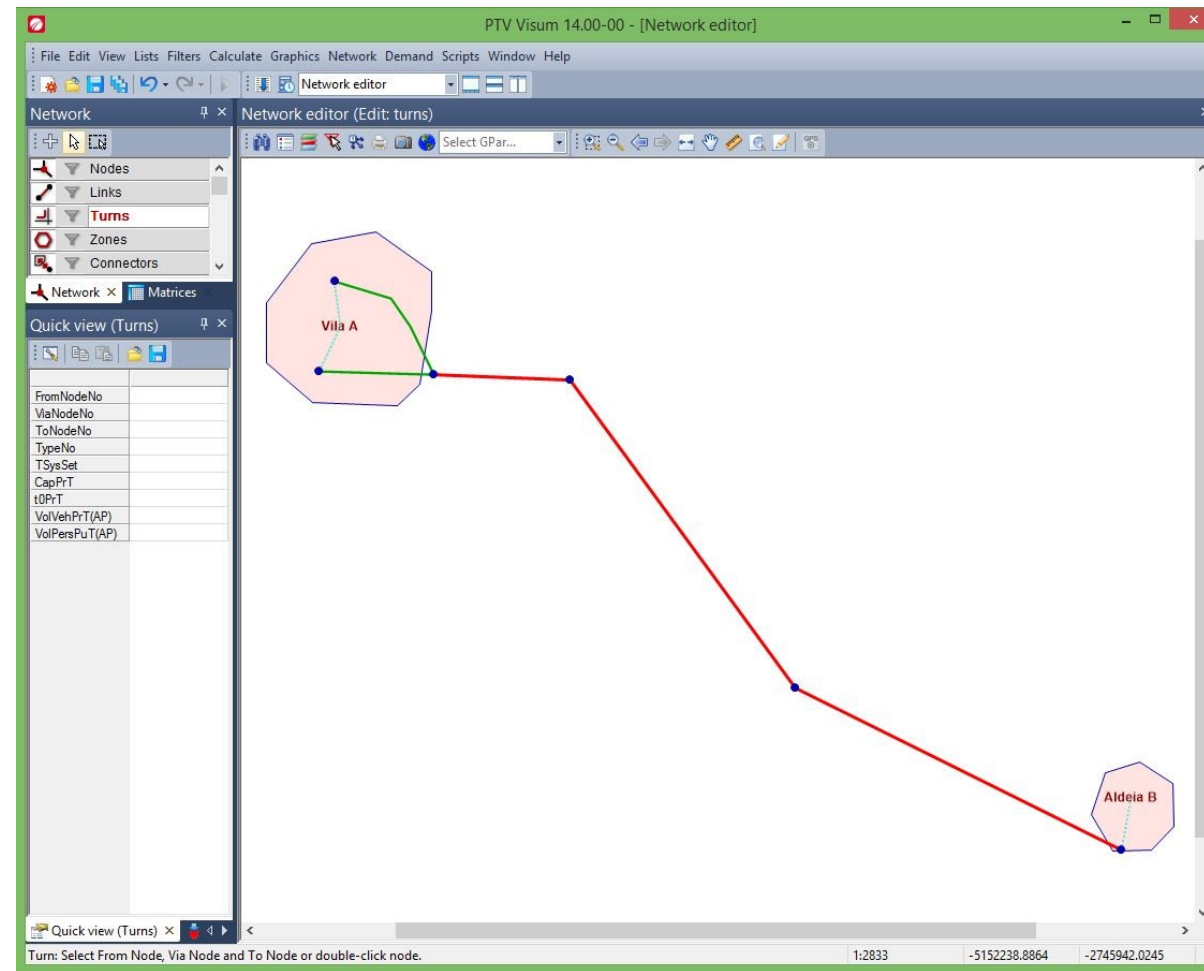
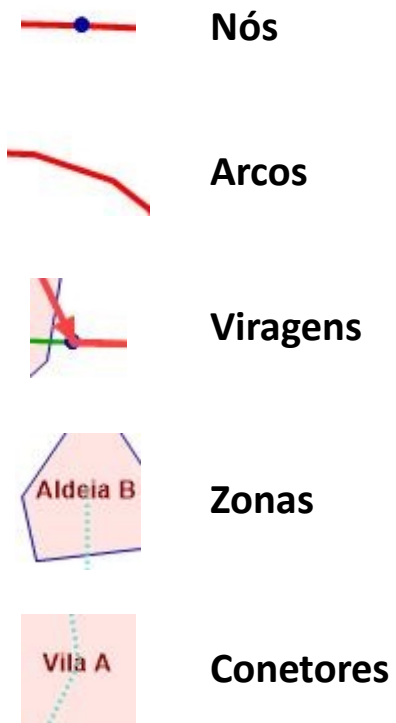
# Modelagem macroscópica de tráfego: construção da rede viária

- A construção de redes em macromodelos envolve geralmente três elementos: *links*, *nós*, e *turns*.
- Os *links* representam as vias:
  - Suas características devem ser inseridas pelo usuário, de modo que o software considere essas informações no momento da simulação
  - O usuário deve informar os sentidos de direção, o número de faixas, a capacidade e uma velocidade de referência, que pode ser a velocidade de fluxo livre (Engenharia de Tráfego)
  - Após a construção deste elemento no modelo, o programa calcula seu comprimento, que será importante para a determinação das velocidades médias nas vias e dos tempos de viagens

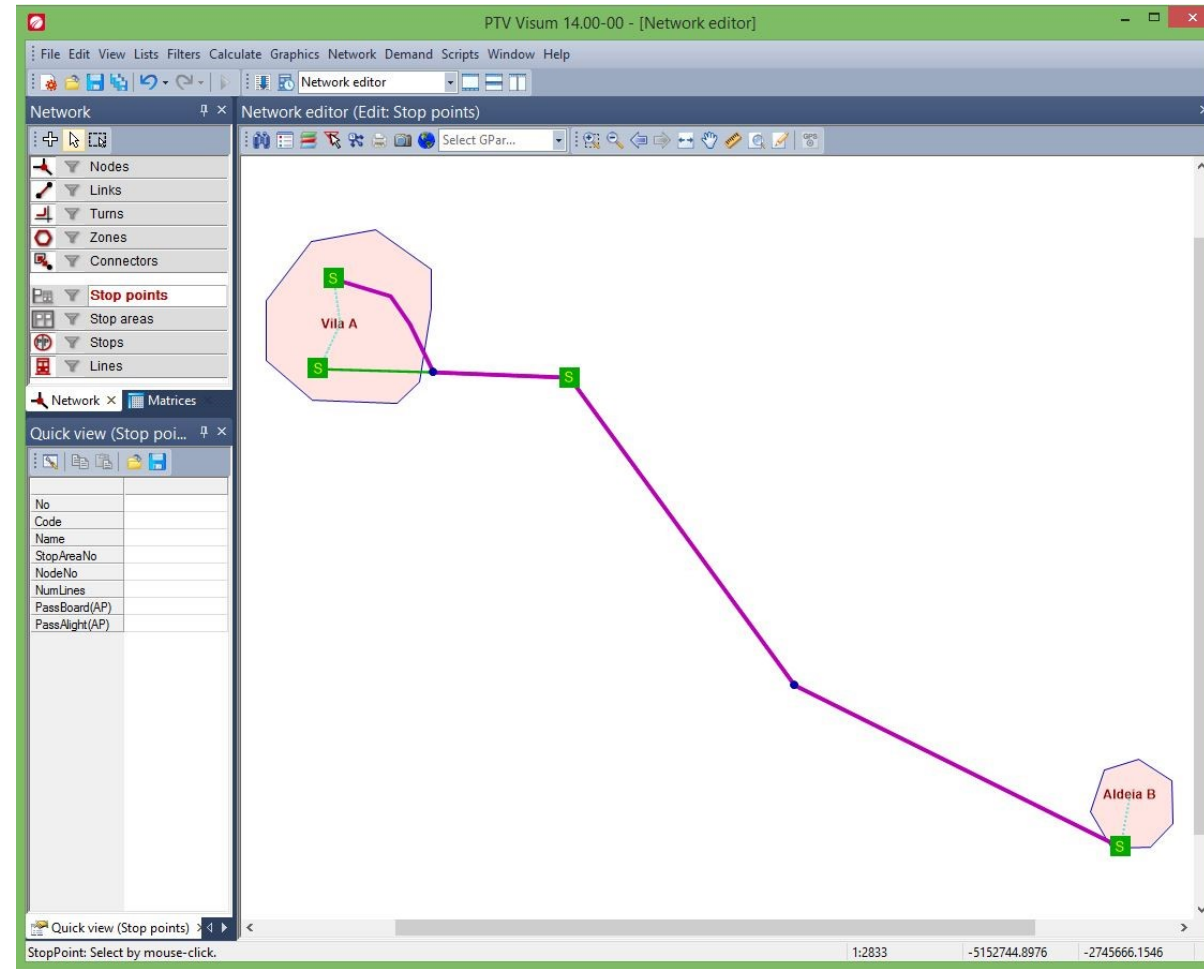
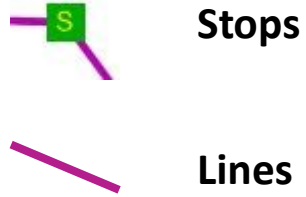
# Modelagem macroscópica de tráfego: construção da rede viária

- Os *nós* e as *turns* são recursos desenvolvidos para a construção de redes
  - eles não representam diretamente algo presente no mundo real
- Os nós determinam o início e o término dos *links*
  - **Primeiro se posicionam os nós** e, a partir deles constroem-se os *links*, indo de um nó a outro
  - Servem para marcar as localidades importantes da rede, tais como as interseções viárias
- As *turns* são elementos que determinam os movimentos permitidos em intersecções
  - E quais os tipos de veículos que podem realizá-los

# Objetos de rede elementares



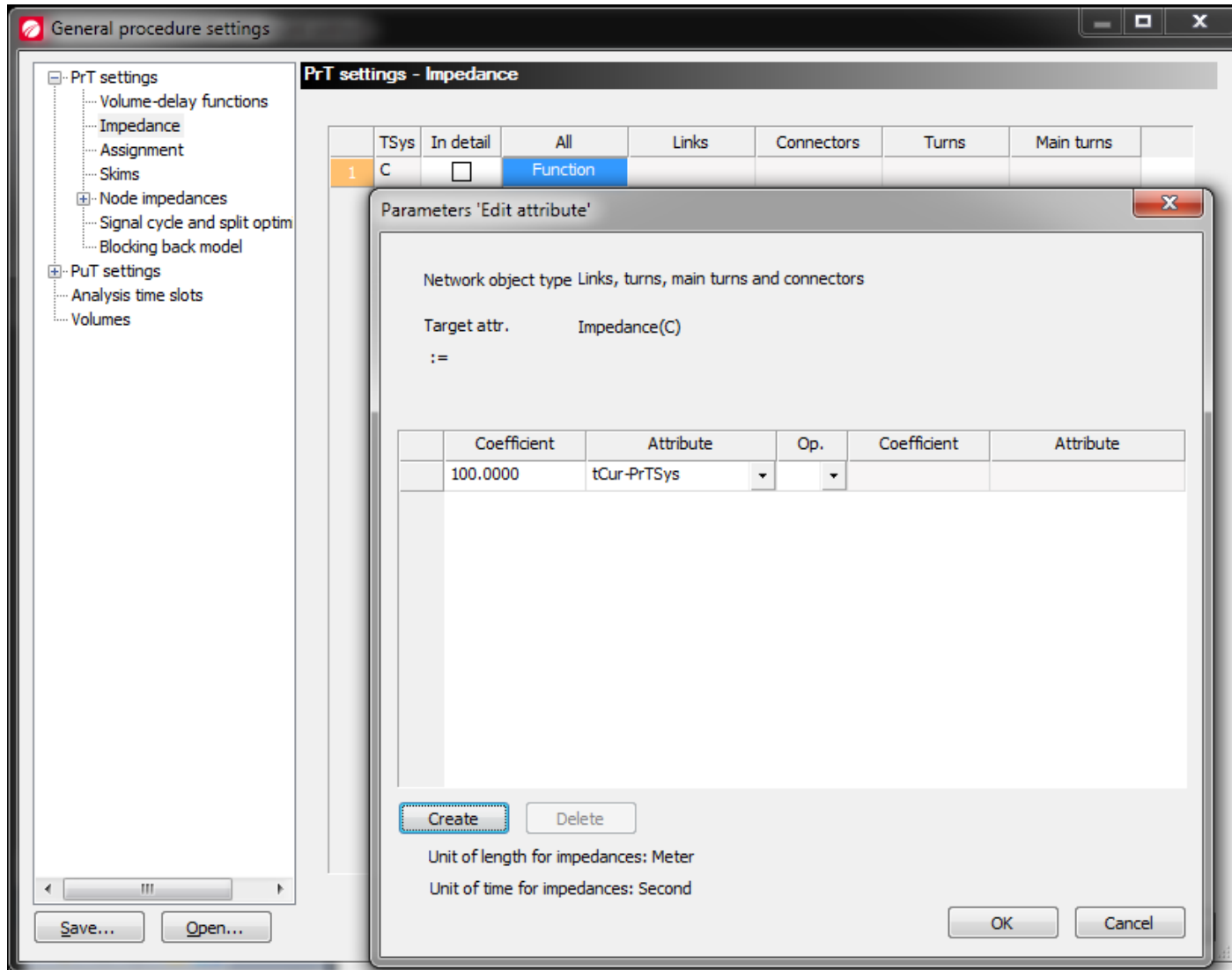
- Objetos elementares da rede TP



# Modelagem macroscópica de tráfego: construção da rede viária

- Função de impedância (ou custo generalizado)
  - indica a "dificuldade" de um veículo passar em cada via da rede
  - Simula as condições atrativas ou repulsivas de fluxo de tráfego
  - Exemplos:
    - uma boa pavimentação, iluminação e velocidade permitida elevada podem ser consideradas **condições atrativas** da via e que, portanto, **reduzem a impedância**
    - em contraste, imediações inseguras, má pavimentação e má iluminação são condições que **desencorajam veículos a trafegar** na via e, portanto, **aumentam sua impedância**

# Função de Impedância



A pesquisa de caminhos mais curtos é sempre a base da impedância, e pode resultar de vários atributos do modelo de rede.

Sem alterar os parâmetros de ajuste das funções de impedância, esta corresponde à soma da impedância de todos os elementos de rede.

Como os valores da impedância são dados em valor inteiro, o valor do **tcur** é multiplicado por um fator de 100.



## Função de Impedância

Esta função pode também ser mais detalhada.

Basta ativar a opção "In detail".

Podemos utilizar atributos definidos pelo utilizador (user defined attribute - UDA) como a **atividade dos arcos** na formula da impedância.

Esta possibilidade pode ser importante para a calibração da alocação.

Por exemplo, aumentando o UDA do arco e, desta forma, reduzindo a sua impedância, isso irá atrair mais tráfego durante a alocação.

Neste exemplo, o UDA tem um valor "default" de 1 para todos os arcos, o que quer dizer que não terá nenhum efeito no resultado da alocação .

General procedure settings

PrT settings - Impedance

	TSys	In detail	All	Links	Connectors	Turns	Main turns
1	Car	<input checked="" type="checkbox"/>		Function	Function	Function	Function
2							

Parameters 'Edit attribute'

Network object type Link

Target attr. Impedance(Car)

:=

	Coefficient	Attribute	Op.	Coefficient	Attribute
	1.0000	TCur_PrTsys(Car)	/	1.0000	attractivity

Create Delete

Unit of length for impedances: Meter

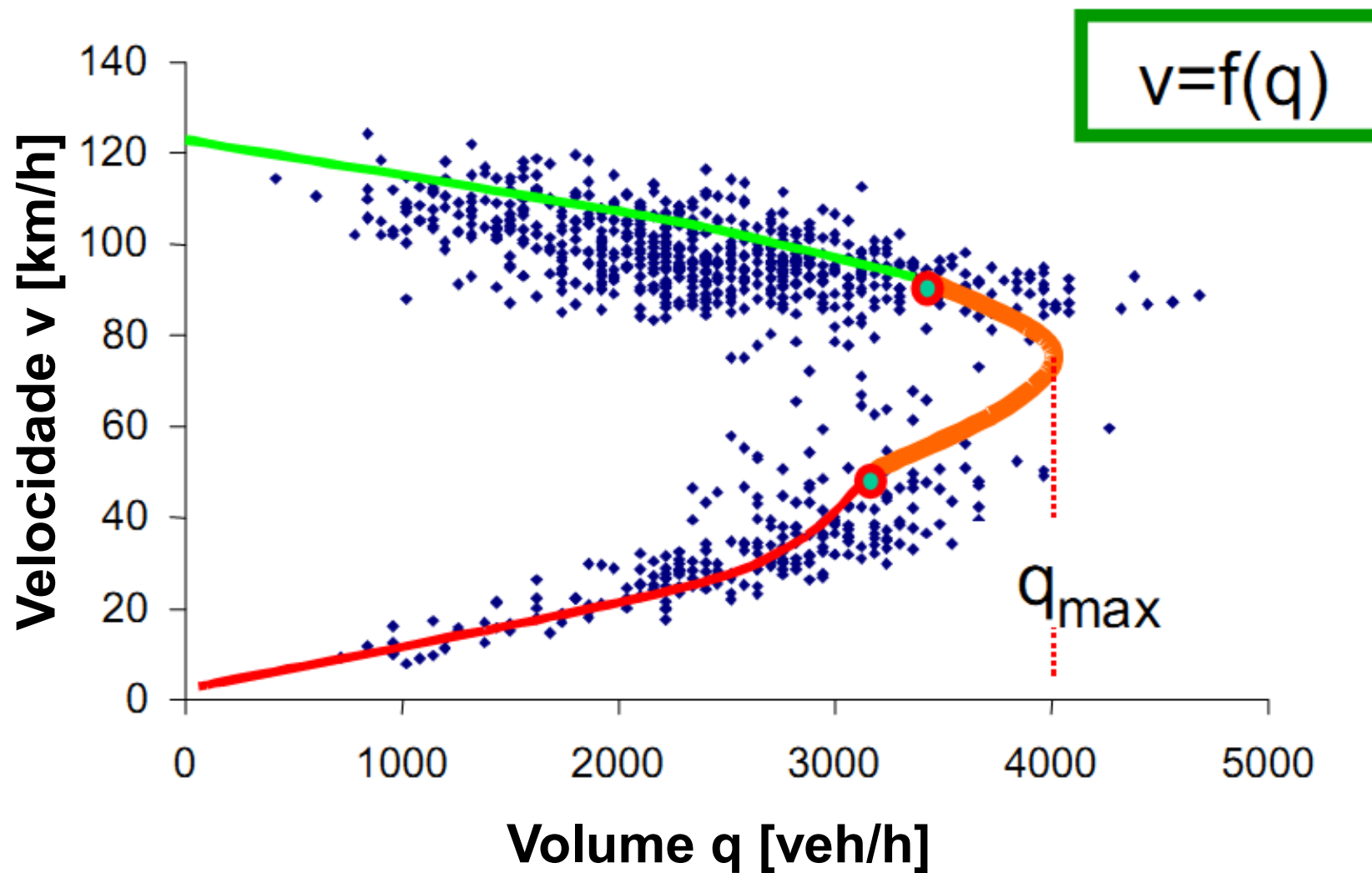
Unit of time for impedances: Second

OK Cancel

# Modelagem macroscópica de tráfego: construção da rede viária

- Função de degradação de velocidade
  - Rege como os veículos aceleram e desaceleram com base em interrupções de movimento (semáforos, conversões de sentido) e congestionamentos
  - Volume Delay Functions (VDF)
  - CET/SP: Bureau of Public Roads (BPR)

## Diagrama volume-velocidade – relação fundamental

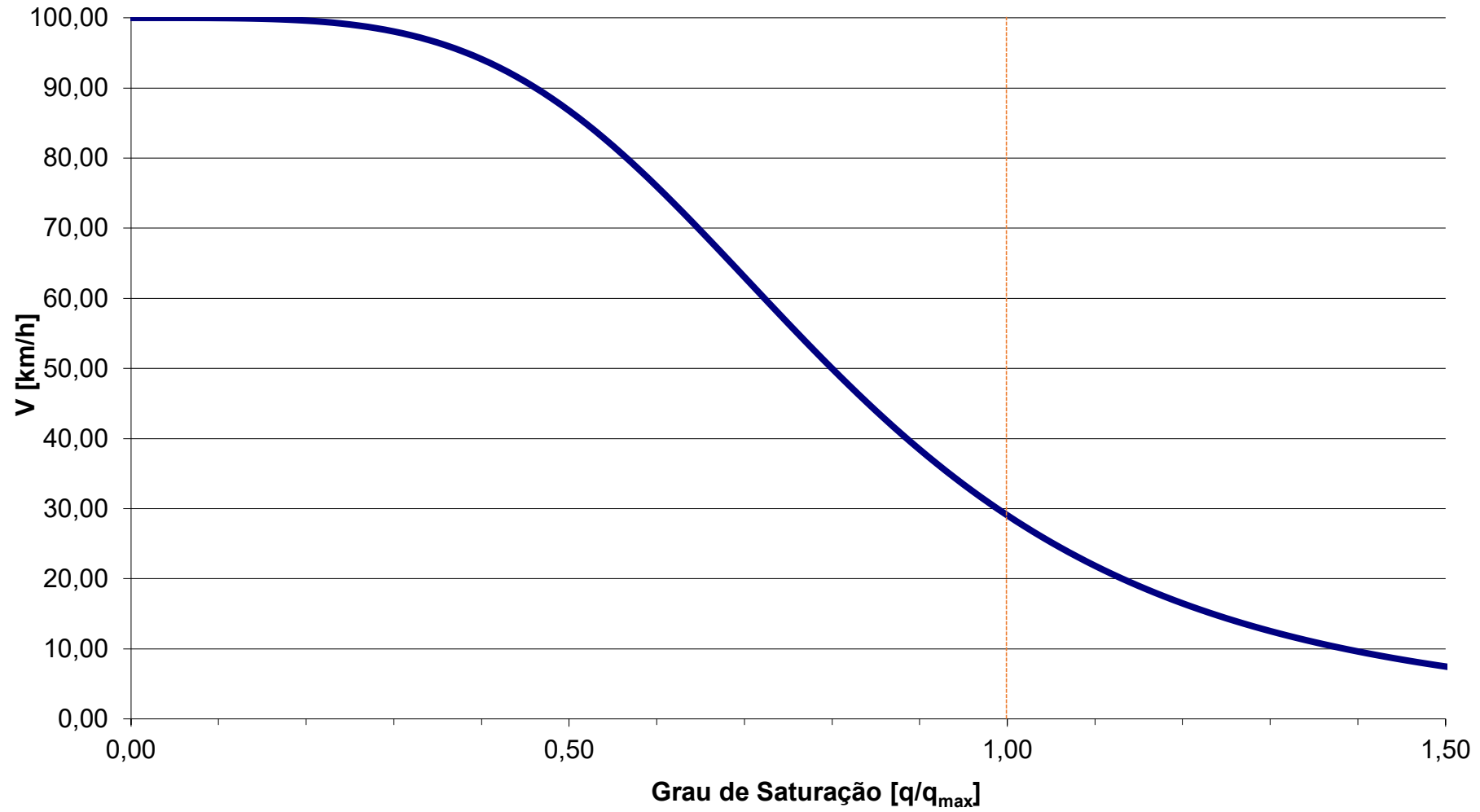


# Diagrama volume-velocidade

- É a base para a definição da função de degradação de velocidade
- Pretendemos compreender o comportamento do tráfego, isto é, as escolhas de caminho feitas pelos utilizadores a partir do conhecimento da situação do tráfego geral na rede, em especial quando esta está perto do limite ( $q_{max}$ )
- A partir destes diagramas é possível notar que não haja uma única função ao longo de toda a curva – pelo contrário, diferentes curvas de regressão podem ser assumidas para diferentes condições de tráfego.



# Diagrama velocidade-saturação



# Função de degradação de velocidade (VDF): BPR (Bureau of Public Roads)

- A base para os procedimentos de **alocação do transporte privado** é a seleção da função de degradação da velocidade (VDF), as quais podem ser definidas para cada elemento da rede.
- **As VDF podem ser definidas para:**
  - Arcos
  - Nós
  - Viragens
  - Conectores
- A descrição matemática da primeira função é :

$$t_{cur} = t_0 * \{1 + a * [q/(c * q_{max})] ** b\}$$

- Esta função é chamada **BPR (Bureau of Public Roads)** e foi a primeira curva de regressão publicada no **HCM (Highway Capacity Manual)** de 1964.



# Função de degradação de velocidade (VDF): BPR (Bureau of Public Roads)

