



# TRANSPORTE E MEIO AMBIENTE

## MODELAGEM DE DEMANDA POR TRANSPORTES E USO DO SOLO

Prof. Dr. Daniel Caetano

2016-1

# Objetivos

- Conceituar demanda, viagem e sua relevância em projetos
- Apresentar os modelos mais comuns para previsão e estudo de demanda
- Discutir a relação entre uso do solo e transportes e os modelos que a levam em consideração



**RETOMANDO...**

# **TRANSPORTES E AMBIENTE**



# Transportes e Meio Ambiente

- Transporte
- Sistema de Transporte
  - Instalações Fixas
  - Entidades de Fluxo
  - Sistemas de Gestão e Controle



# Transportes e Meio Ambiente

- Demanda Derivada
  - Crescente...
  - Precisa ser atendida...?
- Oferta de Infra: Curto x Longo Prazo
  - Ampliar alternativas
  - Mais veículos, mais infraestrutura
  - Concorrência x Complementariedade de Modos



# Transportes e Meio Ambiente

---

- Impactos Ambientais
  - Implantação/Construção
  - Operação



# A DEMANDA NO PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE



# Planejamento de Transporte

- Garantir:
  - **Mobilidade:** capacidade/facilidade de deslocamento por parte do indivíduo
  - **Acessibilidade:** facilidade de atingir destinos para realizar atividades
    - Proximidade
    - Facilidade de Comunicação



# Planejamento de Transporte

---

- Planejar a Oferta...
  - Provisão de Infraestrutura
  - Divisão do Espaço Viário
  - No Transporte Urbano...
    - Redes de Linhas de Transporte Público



**Quanta oferta?**

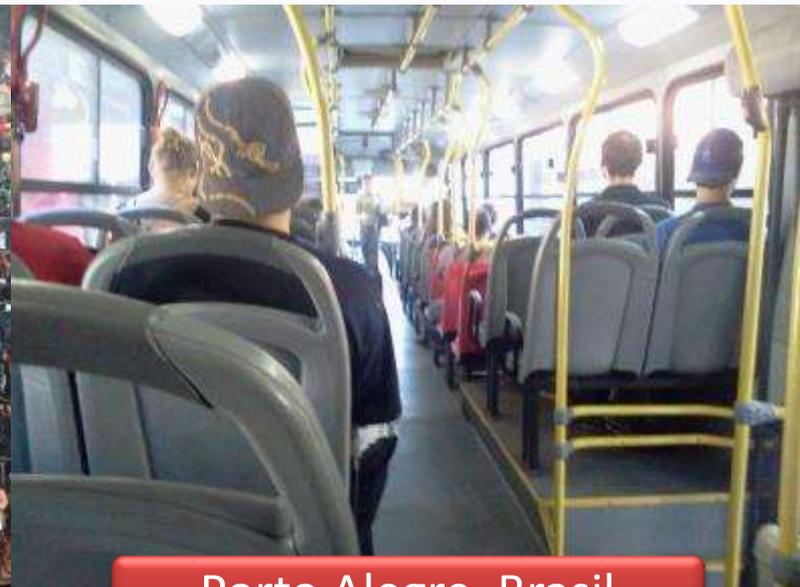


# Planejamento de Transporte

- Oferta “a maior possível”?
  - Oferta  $\leftrightarrow$  Demanda
  - Análise de Alternativas



Tongi, Bangladesh



Porto Alegre, Brasil



# Planejamento de Transporte

---

- Projetar oferta para qual demanda?
  - Demanda atual ou futura?
  - Horizonte de Projeto



# Planejamento de Transporte

- Importância do Planejamento
  - Investimentos elevados
  - Desenvolvimento econômico
  - Impacto amplo – qualidade de vida



# Planejamento de Transporte

- Abordagem para o Planejamento Estratégico
  - Definição dos Objetivos/Metas
    - Qual a demanda? Ela vai ser atendida?
  - Geração de Alternativas
    - Quais as possíveis alternativas de oferta?
  - Análise de Alternativas (modelos)
    - Quais as consequências de cada alternativa?
  - Seleção de Alternativas (avaliação)
    - Qual(is) alternativa(s) adotar?

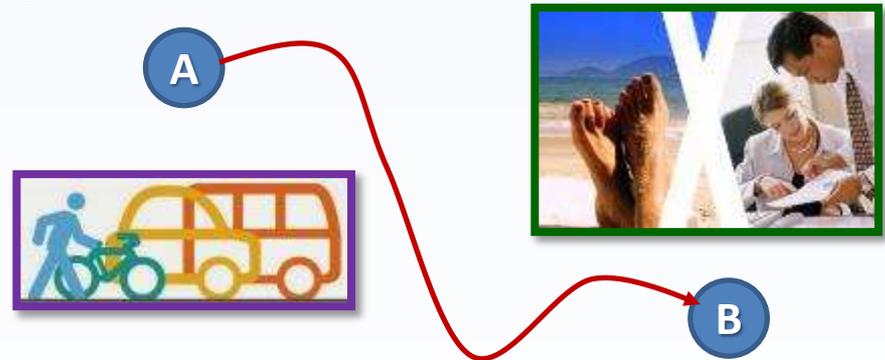


# CARACTERIZANDO A DEMANDA



# Caracterizando a Demanda

- Demanda por transportes?
  - Como se manifesta o transporte?
- Transporte: realizado por meio de **viagens**
  - Origem e Destino
  - **Motivo**
  - Modo de Transporte
  - **Rota**



- **OBS:** “Viagens Virtuais”



# Caracterizando uma Viagem

- Características de uma Viagem
  - Heterogeneidade: viagens são sempre diferentes
  - Indissociabilidade: sempre há **um** viajante
  - Intangibilidade: não pode ser tocada
  - Perecibilidade: não pode ser estocada



# Fatores que Afetam a Demanda

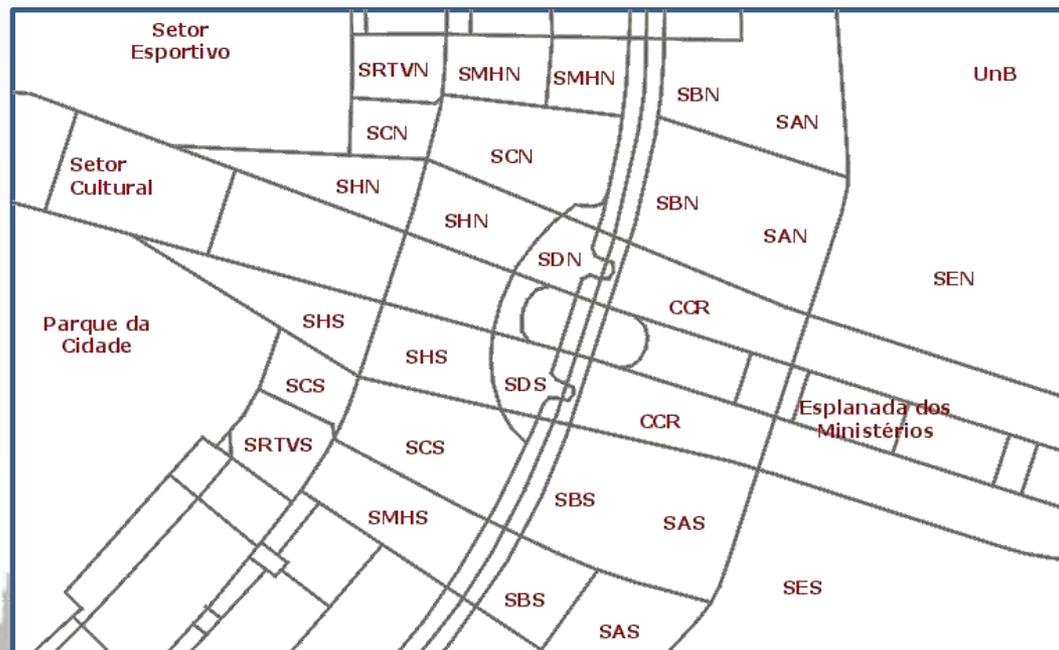
---

- Características socioeconômicas/demográficas
  - Resultam em participação em atividades
  - Afeta a geração de viagens
- Uso do Solo
  - Influencia a caracterização espacial da demanda
    - De onde vou? Para onde vou?
  - Afeta a distribuição de viagens
- Oferta e Qualidade
  - Modos de transporte
  - Rotas



# As Viagens e o Espaço

- Variabilidade na dimensão espacial
  - Ocupação do espaço interfere no transporte
    - Brasília x São Paulo
    - Centro x Periferia (de São Paulo)



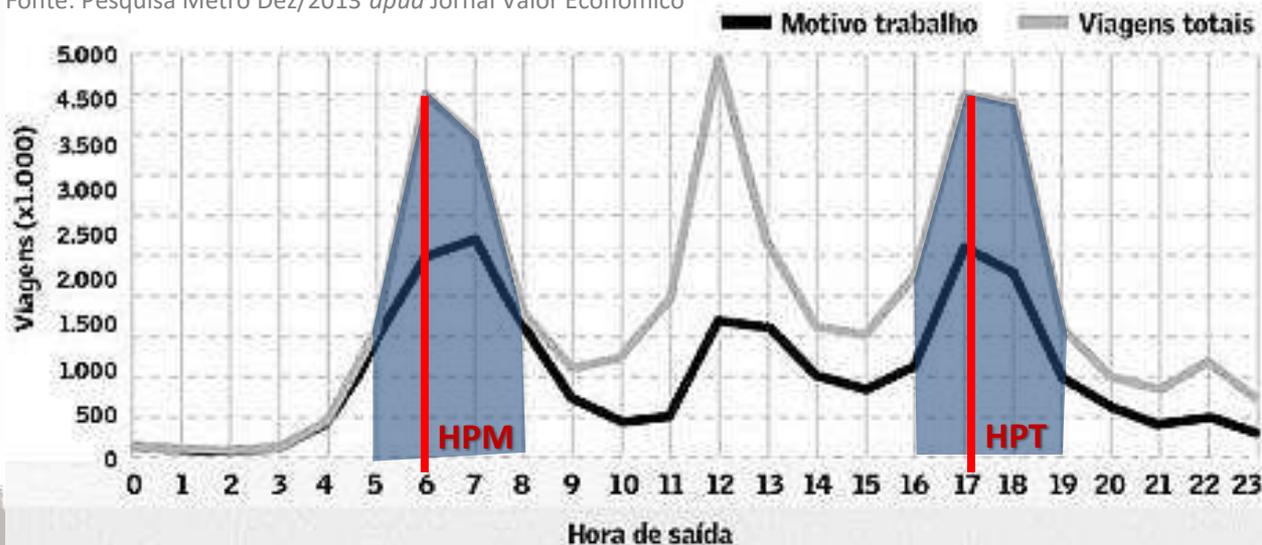
# As Viagens e o Tempo

- Variabilidade na dimensão temporal
  - Variação horária
    - Hora-pico (manhã x tarde)
    - Período-pico (manhã x tarde) – 3 horas

Efeito do Rodízio?

Dados da região metropolitana de São Paulo

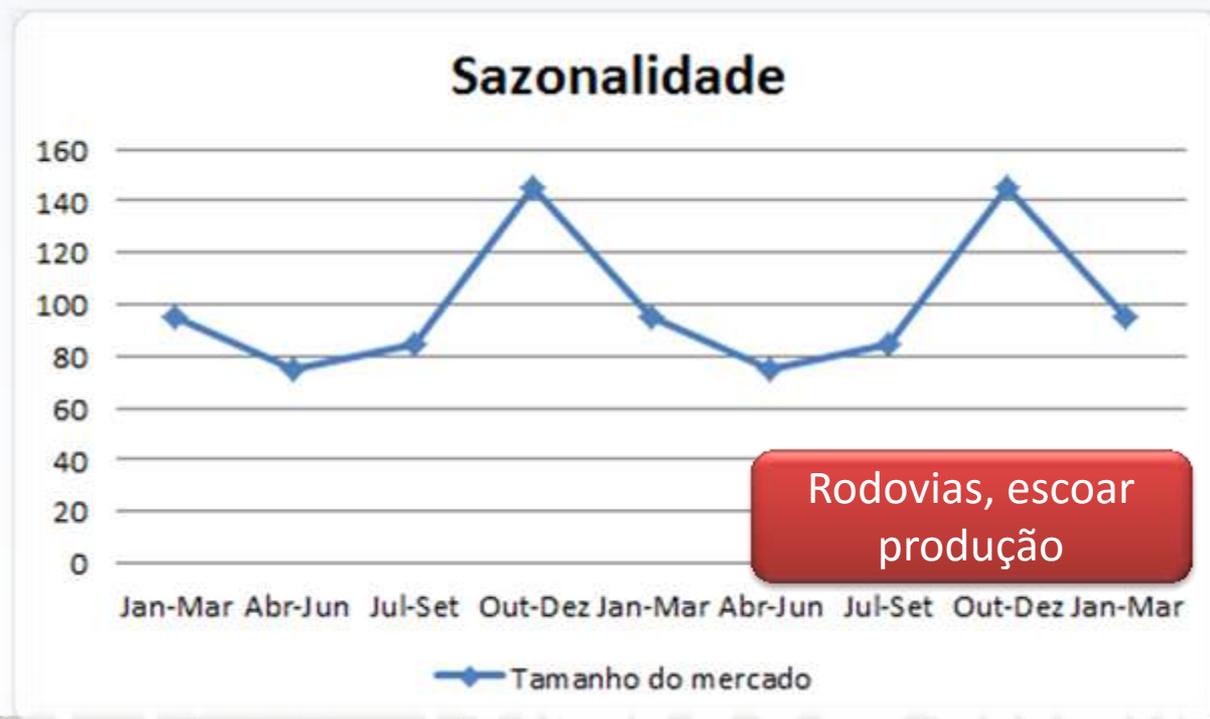
Fonte: Pesquisa Metrô Dez/2013 *apud* Jornal Valor Econômico



# As Viagens e o Tempo

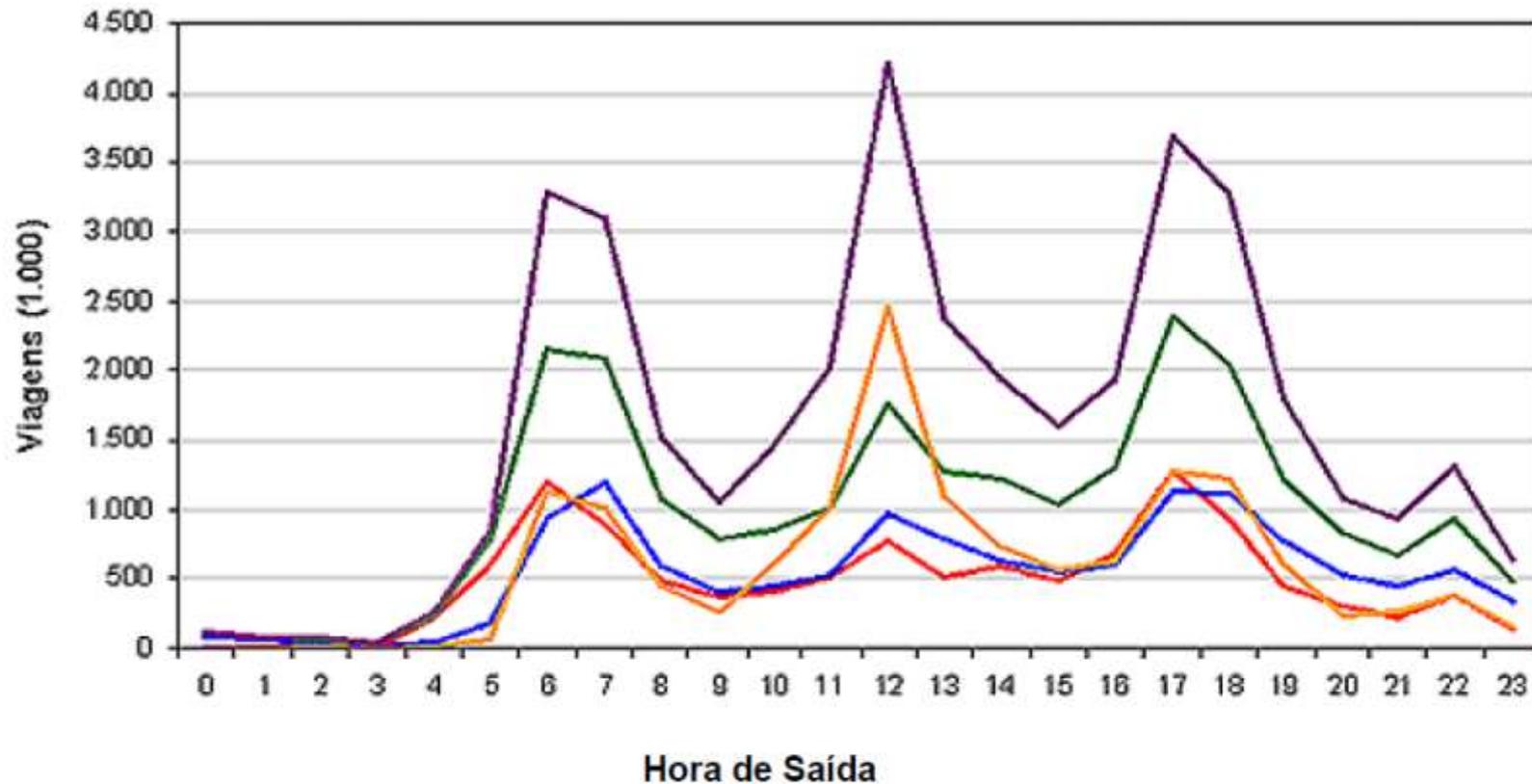
- Variabilidade na dimensão temporal
  - Outras variações
    - Diária
    - Semanal
    - Mensal
    - Sazonal

Dia Pico,  
Hora Pico



# As Viagens e o Tempo

- Flutuação Horária por Modo (RMSP)

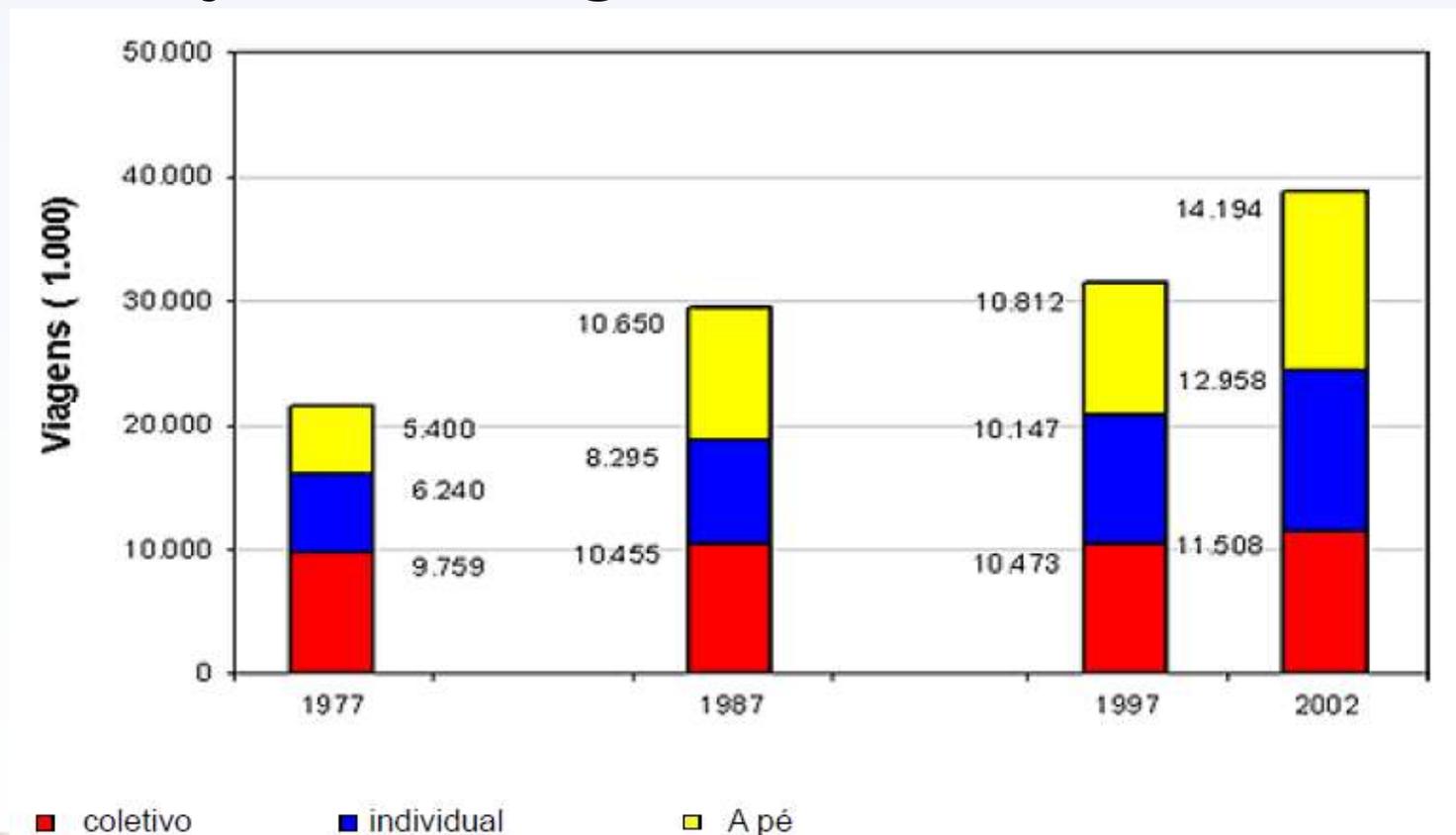


— Coletivo — Individual — Motorizado — A Pé — Total



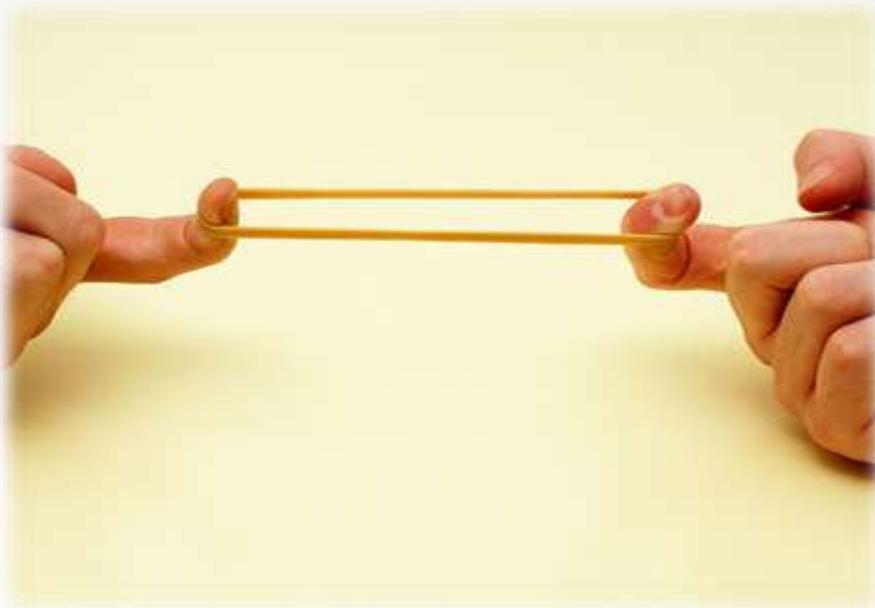
# As Viagens e o Tempo

- Evolução das Viagens Diárias na RMSP

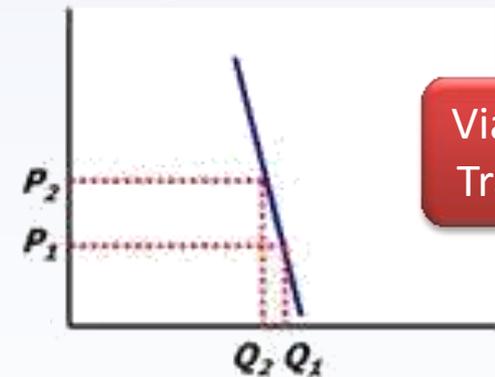


# Elasticidade da Demanda

- Elasticidade da Demanda
  - Preço, tempo, segurança...

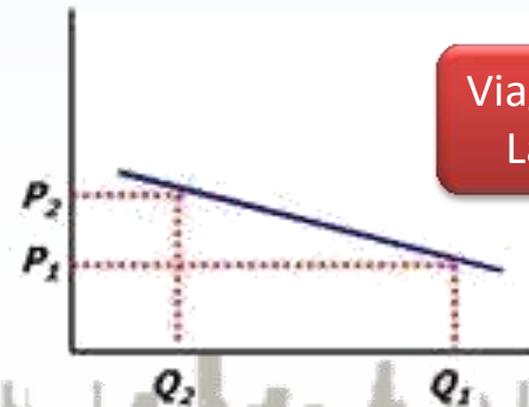


*Demanda inelástica*



Viagem a Trabalho

*Demanda elástica*

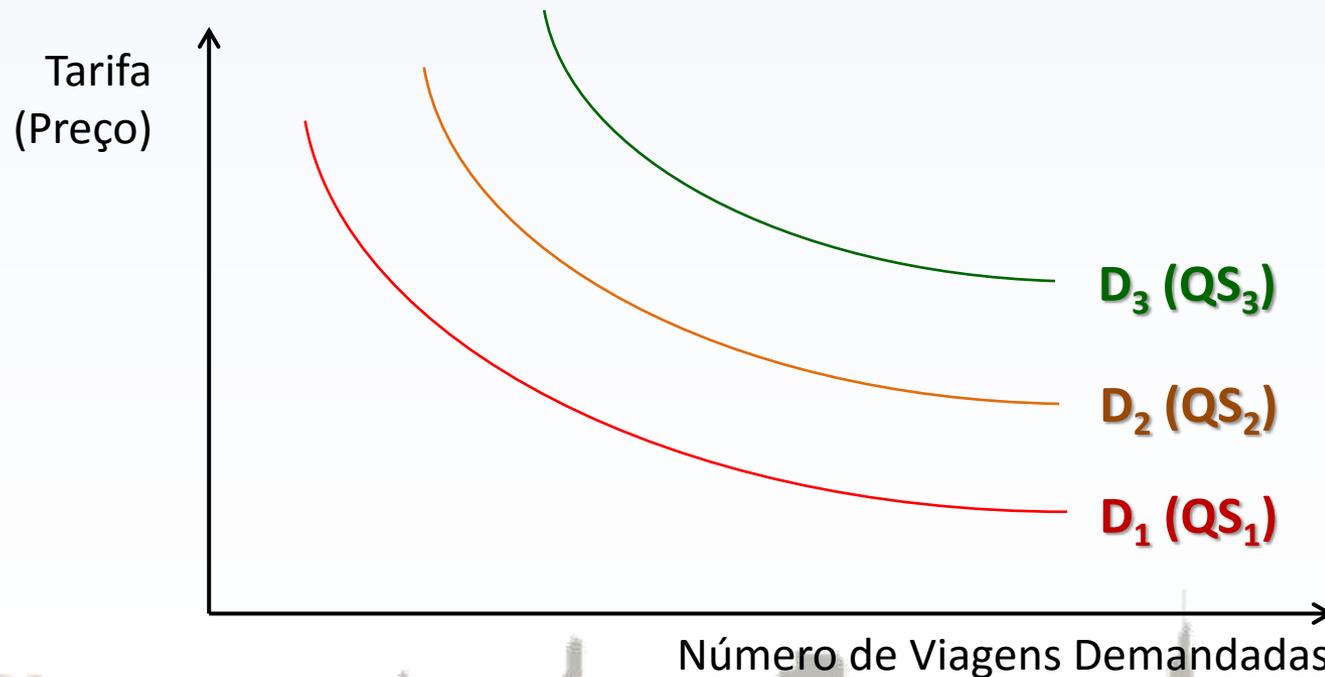


Viagem a Lazer



# Elasticidade e Qualidade

- Elasticidade da Demanda
  - Curvas diferentes: preço x qualidade de serviço



# Percepção da Qualidade

- Percepção da Qualidade de Serviço
  - Varia com situação socioeconômica
    - Idade
    - Sexo
    - Escolaridade
    - Renda
    - Frequência de uso



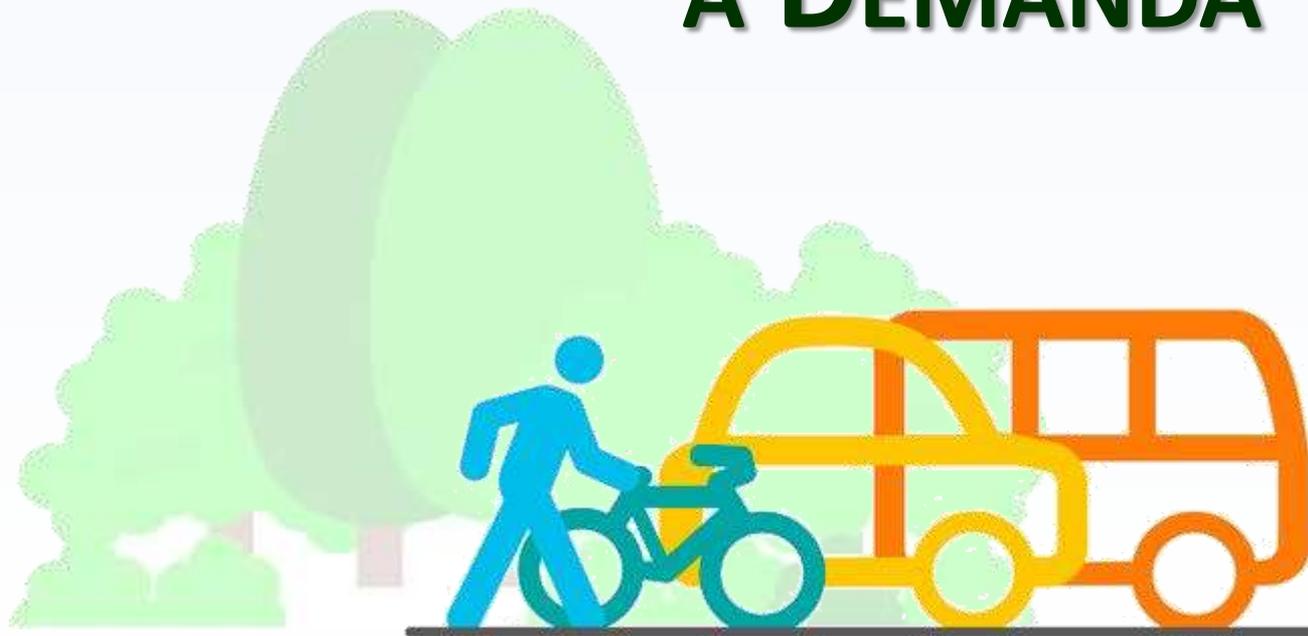
# Como Medir a Qualidade?

---

- Atributos ou Indicadores
  - Tempo de viagem
    - Velocidade, frequência, confiabilidade
  - Conforto
    - Lugar para sentar, lotação, temperatura, limpeza, ruído, suavidade
  - Conveniência
    - Pontos de parada, número de linhas, número de baldeações, informações, horário de serviço, rotas diretas
  - Segurança
    - Número de acidentes por ano, furtos, agressões



# QUANTIFICANDO A DEMANDA



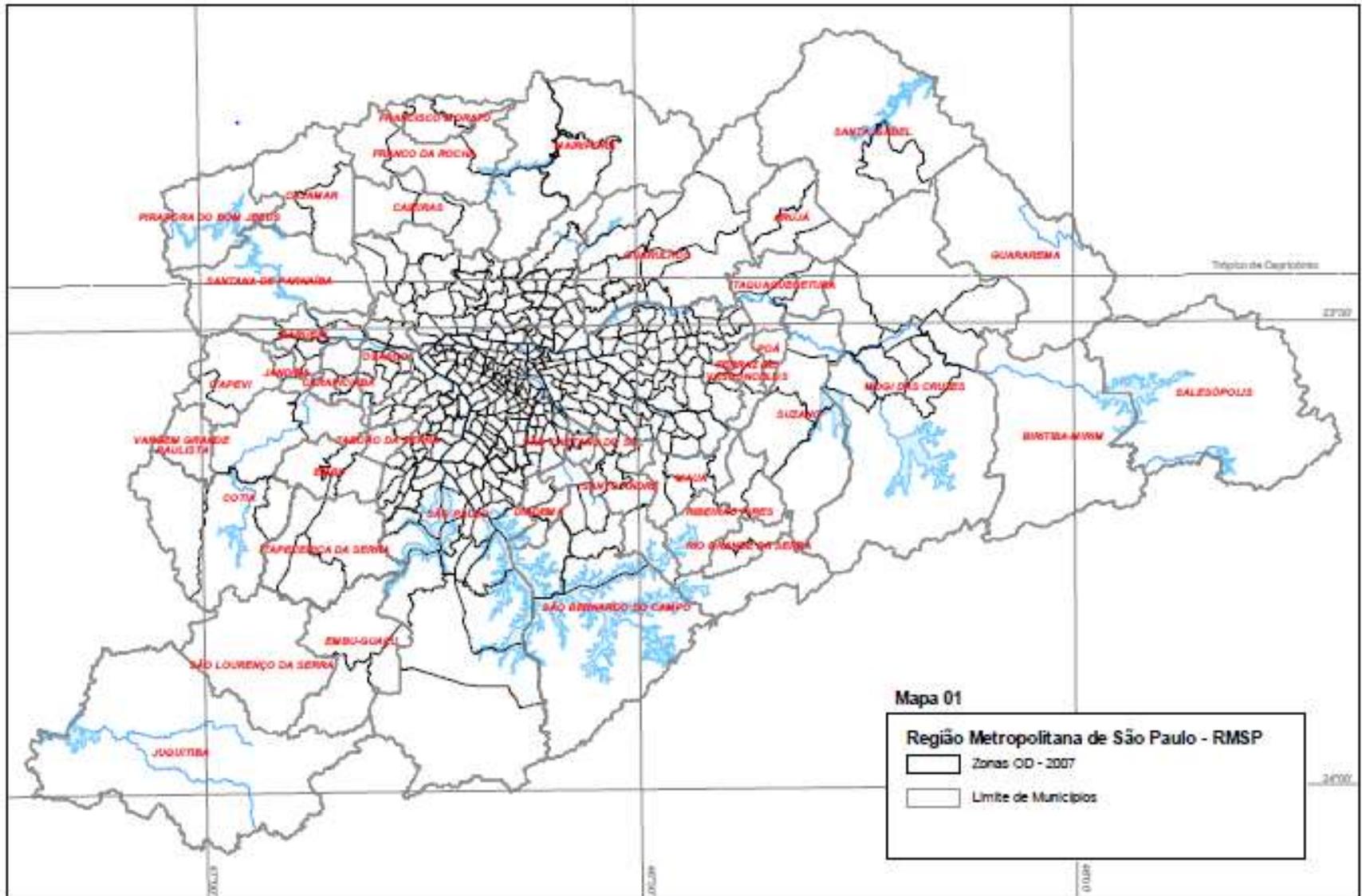
# Como Medir a Demanda?

---

- Dividir região em setores homogêneos...

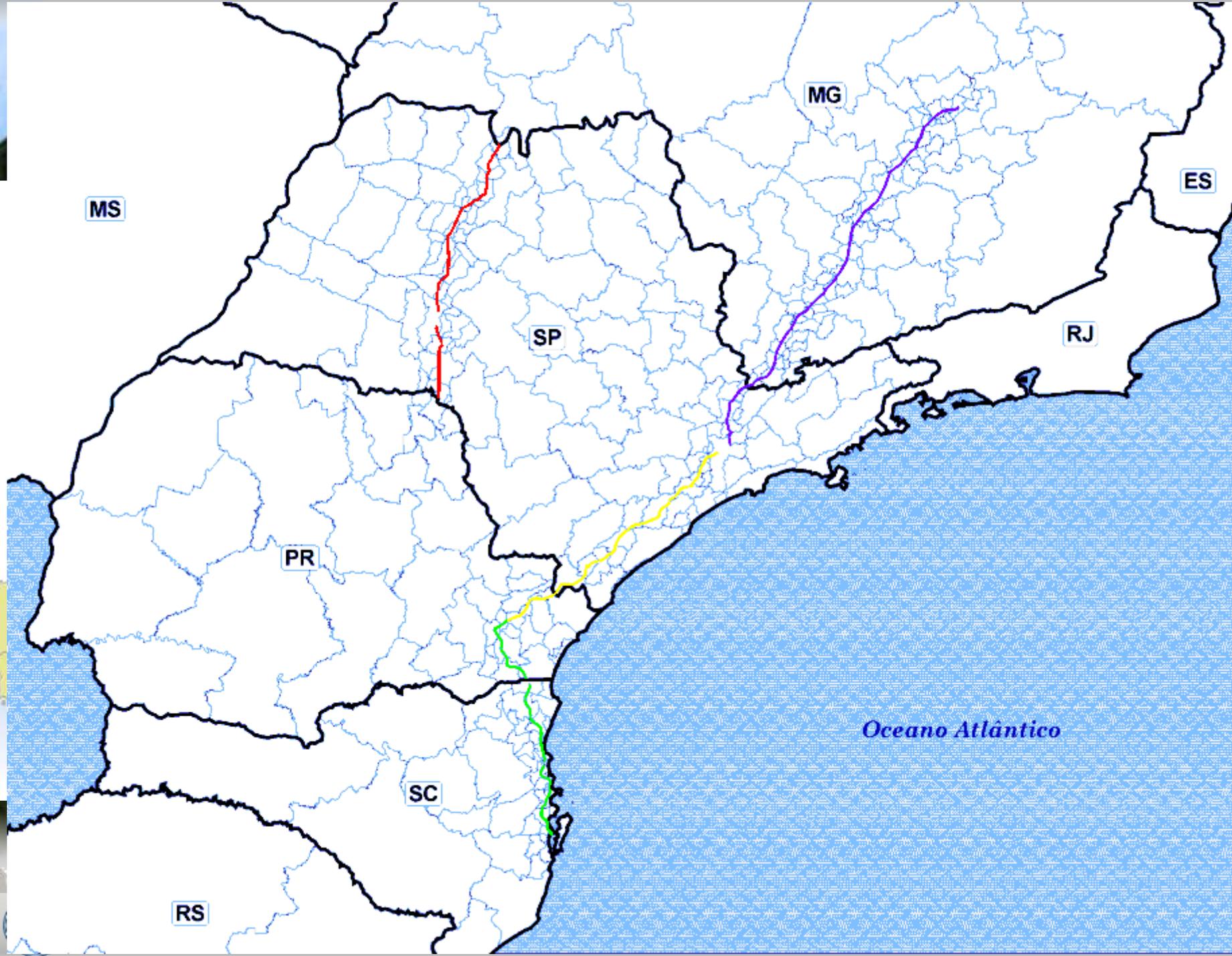


# Como Medir a Demanda?



# Como Medir a Demanda?





# Como Medir a Demanda?

- Pesquisa O/D domiciliar

$\begin{matrix} D \\ O \end{matrix}$	1	....	....	n	n+1	....	z
1	VIAGENS INTERNAS				VIAGENS EXTERNAS (SAIDAS)		
⋮							
n							
n+1							
⋮	VIAGENS EXTERNAS (ENTRADAS)				VIAGENS ATRAVÉS		
z							



**bloco 3**

nome da pessoa \_\_\_\_\_

dia da semana

zona

subzona

domicílio i

d.c.

n° da família

n° da pessoa

n° da viagem


















<p><b>1. Em que lugar estava quando iniciou esta viagem?(origem)</b></p> <p>endereço 1 _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>bairro/cidade _____</p> <p>referência/ esquina _____</p> <p style="text-align: right;">zona <input type="text"/></p>	<p><b>3. Por que estava no endereço 1?</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>de</th> <th>motivo</th> <th>para</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>01</td><td>trabalho/indústria</td><td>01</td></tr> <tr><td>02</td><td>trabalho/comércio</td><td>02</td></tr> <tr><td>03</td><td>trabalho/serviços</td><td>03</td></tr> <tr><td>04</td><td>escola/educação</td><td>04</td></tr> <tr><td>05</td><td>compras</td><td>05</td></tr> <tr><td>06</td><td>médico/dentista/saúde</td><td>06</td></tr> <tr><td>07</td><td>recreação/visitas/lazer</td><td>07</td></tr> <tr><td>08</td><td>residência</td><td>08</td></tr> <tr><td>09</td><td>procurar emprego</td><td>09</td></tr> <tr><td>10</td><td>assuntos pessoais</td><td>10</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><b>5. Serviu passageiro?</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>no endereço 1</th> <th>no endereço 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>1. sim</td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>2. não</td> <td><input type="text"/></td> </tr> </tbody> </table>	de	motivo	para	01	trabalho/indústria	01	02	trabalho/comércio	02	03	trabalho/serviços	03	04	escola/educação	04	05	compras	05	06	médico/dentista/saúde	06	07	recreação/visitas/lazer	07	08	residência	08	09	procurar emprego	09	10	assuntos pessoais	10	no endereço 1	no endereço 2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1. sim	<input type="text"/>	2. não	<input type="text"/>	<p><b>4. Por que foi para o endereço 2?</b></p>	<p><b>6. Quais conduções utilizou para chegar no endereço 2?</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>modo</th> <th>m1</th> <th>m2</th> <th>m3</th> <th>m4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>ônibus município S.Paulo</td><td>01</td><td>01</td><td>01</td><td>01</td></tr> <tr><td>ônibus outros municípios</td><td>02</td><td>02</td><td>02</td><td>02</td></tr> <tr><td>ônibus metropolitano</td><td>03</td><td>03</td><td>03</td><td>03</td></tr> <tr><td>ônibus fretado</td><td>04</td><td>04</td><td>04</td><td>04</td></tr> <tr><td>escolar</td><td>05</td><td>05</td><td>05</td><td>05</td></tr> <tr><td>dirigindo automóvel</td><td>06</td><td>06</td><td>06</td><td>06</td></tr> <tr><td>passageiro de auto</td><td>07</td><td>07</td><td>07</td><td>07</td></tr> <tr><td>táxi</td><td>08</td><td>08</td><td>08</td><td>08</td></tr> <tr><td>microônibus/van município S.Paulo</td><td>09</td><td>09</td><td>09</td><td>09</td></tr> <tr><td>microônibus/van outros municípios</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td><td>10</td></tr> <tr><td>microônibus/van metropolitano</td><td>11</td><td>11</td><td>11</td><td>11</td></tr> <tr><td>metrô</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td><td>12</td></tr> <tr><td>trem</td><td>13</td><td>13</td><td>13</td><td>13</td></tr> <tr><td>moto</td><td>14</td><td>14</td><td>14</td><td>14</td></tr> <tr><td>bicicleta</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td><td>15</td></tr> <tr><td>a pé</td><td>16</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>outros</td><td>17</td><td>17</td><td>17</td><td>17</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>m1</th> <th>m2</th> <th>m3</th> <th>m4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> </tbody> </table>	modo	m1	m2	m3	m4	ônibus município S.Paulo	01	01	01	01	ônibus outros municípios	02	02	02	02	ônibus metropolitano	03	03	03	03	ônibus fretado	04	04	04	04	escolar	05	05	05	05	dirigindo automóvel	06	06	06	06	passageiro de auto	07	07	07	07	táxi	08	08	08	08	microônibus/van município S.Paulo	09	09	09	09	microônibus/van outros municípios	10	10	10	10	microônibus/van metropolitano	11	11	11	11	metrô	12	12	12	12	trem	13	13	13	13	moto	14	14	14	14	bicicleta	15	15	15	15	a pé	16				outros	17	17	17	17	m1	m2	m3	m4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<p><b>7. A que horas saiu do endereço 1?</b></p> <p>hora da saída</p> <p>hora minutos <input type="text"/></p> <p><b>9. Quanto tempo andou do endereço 1 até a 1ª condução?</b></p> <p>tempo andando</p> <p>minutos <input type="text"/></p>
de	motivo	para																																																																																																																																													
01	trabalho/indústria	01																																																																																																																																													
02	trabalho/comércio	02																																																																																																																																													
03	trabalho/serviços	03																																																																																																																																													
04	escola/educação	04																																																																																																																																													
05	compras	05																																																																																																																																													
06	médico/dentista/saúde	06																																																																																																																																													
07	recreação/visitas/lazer	07																																																																																																																																													
08	residência	08																																																																																																																																													
09	procurar emprego	09																																																																																																																																													
10	assuntos pessoais	10																																																																																																																																													
no endereço 1	no endereço 2																																																																																																																																														
<input type="text"/>	<input type="text"/>																																																																																																																																														
1. sim	<input type="text"/>																																																																																																																																														
2. não	<input type="text"/>																																																																																																																																														
modo	m1	m2	m3	m4																																																																																																																																											
ônibus município S.Paulo	01	01	01	01																																																																																																																																											
ônibus outros municípios	02	02	02	02																																																																																																																																											
ônibus metropolitano	03	03	03	03																																																																																																																																											
ônibus fretado	04	04	04	04																																																																																																																																											
escolar	05	05	05	05																																																																																																																																											
dirigindo automóvel	06	06	06	06																																																																																																																																											
passageiro de auto	07	07	07	07																																																																																																																																											
táxi	08	08	08	08																																																																																																																																											
microônibus/van município S.Paulo	09	09	09	09																																																																																																																																											
microônibus/van outros municípios	10	10	10	10																																																																																																																																											
microônibus/van metropolitano	11	11	11	11																																																																																																																																											
metrô	12	12	12	12																																																																																																																																											
trem	13	13	13	13																																																																																																																																											
moto	14	14	14	14																																																																																																																																											
bicicleta	15	15	15	15																																																																																																																																											
a pé	16																																																																																																																																														
outros	17	17	17	17																																																																																																																																											
m1	m2	m3	m4																																																																																																																																												
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>																																																																																																																																												
<p><b>2. Saiu para ir onde? Em que endereço?(destino)</b></p> <p>endereço 2 _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>bairro/cidade _____</p> <p>referência/ esquina _____</p> <p style="text-align: right;">zona <input type="text"/></p>	<p><b>8. A que horas chegou no endereço 2?</b></p> <p>hora da chegada</p> <p>hora minutos <input type="text"/></p> <p><b>10. Quanto tempo andou da última condução até o endereço 2?</b></p> <p>tempo andando</p> <p>minutos <input type="text"/></p>	<p><b>11. Em que locais mudou de condução?</b></p> <p>1º _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>2º _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>3º _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p><b>12. Se usou transporte coletivo, quem pagou a viagem?</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>você/sua família</li> <li>patrão</li> <li>isento</li> <li>outros</li> </ol> <p style="text-align: right;"><input type="text"/></p>	<p><b>13. Se dirigiu automóvel, que tipo de estacionamento utilizou?</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>não estacionou</li> <li>zona azul/marrom</li> <li>patrocinado</li> <li>próprio</li> <li>meio-fio</li> <li>avulso</li> <li>mensal</li> <li>não respondeu</li> </ol> <p style="text-align: right;"><input type="text"/></p>																																																																																																																																											
<p><b>14. Se pagou o estacionamento, quanto gastou?</b></p> <p style="text-align: right;">valor (reais)</p> <p><input type="text"/></p>	<p><b>15. Por que viajou a pé ou de bicicleta?</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>pequena distância</li> <li>condução cara</li> <li>ponto/estação distante</li> <li>condução demora para passar</li> <li>viagem demorada</li> <li>condução lotada</li> <li>atividade física</li> <li>outros motivos</li> </ol> <p style="text-align: right;"><input type="text"/></p>	<p><b>16. Se viajou de bicicleta, onde guardou?</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>bicicletário gratuito</li> <li>bicicletário pago</li> <li>local privado</li> <li>rua/ local público</li> <li>outros</li> </ol> <p style="text-align: right;"><input type="text"/></p>																																																																																																																																													



# Como Medir a Demanda?

	<b>PROGRAMA DE CONCESSÃO DE RODOVIAS FEDERAIS</b>					NÚMERO FORMULÁRIO				
	Pesquisa O/D		<b>FORMULÁRIO AUTOMÓVEIS</b>			DATA		POSTO		
<p>Bom Dia (Boa Tarde). O PROGRAMA DE CONCESSÃO DE RODOVIAS FEDERAIS, está realizando esta pesquisa sobre a malha rodoviária. Vou lhe fazer algumas perguntas sobre a sua viagem e desde já agradeço a sua colaboração.</p>						SENTIDO		REGIÃO		PESQUISADOR
Hora	<input type="text"/>	A1. Qual cidade o Sr(a) está vindo (origem)?	Estado	A2. Para qual cidade o Sr(a) está indo (destino)?	Estado	A3. Freq.	A4. Renda	A5. An/veic.	A.6 MarcModel	A7.T bordo+M
Hora	<input type="text"/>	A1. Qual cidade o Sr(a) está vindo (origem)?	Estado	A2. Para qual cidade o Sr(a) está indo (destino)?	Estado	A3. Freq.	A4. Renda	A5. An/veic.	A.6 MarcModel	A7.T bordo+M
Hora	<input type="text"/>	A1. Qual cidade o Sr(a) está vindo (origem)?	Estado	A2. Para qual cidade o Sr(a) está indo (destino)?	Estado	A3. Freq.	A4. Renda	A5. An/veic.	A.6 MarcModel	A7.T bordo+M
Hora	<input type="text"/>	A1. Qual cidade o Sr(a) está vindo (origem)?	Estado	A2. Para qual cidade o Sr(a) está indo (destino)?	Estado	A3. Freq.	A4. Renda	A5. An/veic.	A.6 MarcModel	A7.T bordo+M
Hora	<input type="text"/>	A1. Qual cidade o Sr(a) está vindo (origem)?	Estado	A2. Para qual cidade o Sr(a) está indo (destino)?	Estado	A3. Freq.	A4. Renda	A5. An/veic.	A.6 MarcModel	A7.T bordo+M
Hora	<input type="text"/>	A1. Qual cidade o Sr(a) está vindo (origem)?	Estado	A2. Para qual cidade o Sr(a) está indo (destino)?	Estado	A3. Freq.	A4. Renda	A5. An/veic.	A.6 MarcModel	A7.T bordo+M
Hora	<input type="text"/>	A1. Qual cidade o Sr(a) está vindo (origem)?	Estado	A2. Para qual cidade o Sr(a) está indo (destino)?	Estado	A3. Freq.	A4. Renda	A5. An/veic.	A.6 MarcModel	A7.T bordo+M

Dia=D Semana=S Mês=M Primeira Vez=PV



# Como Medir a Demanda?

- Pesquisa O/D domiciliar
  - Dias úteis típicos (evitar sextas e segundas)
  - Amostragem / Entrevistas / Acompanhamento
  - Refletem um momento

O/D	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
Z1	7425	5734	4574	4345	2689	3676
Z2	6546	10234	3565	2355	1564	12420
Z3	1245	6557	5678	187	4564	2356
Z4	2467	1235	2466	12567	1237	3542
Z5	1456	4356	6533	4325	7683	5567
Z6	4577	345	768	3455	7655	8943



# Como Medir a Demanda?

- Pesquisa O/D Estratificada
  - Período, Motivo, Modo, Renda, ...



# Demanda de Projeto

- Demanda  $\Leftrightarrow$  Horizonte de Projeto
  - Curto: medição direta, poucas mudanças
  - Médio: expansão com atividades constantes
  - Longo: mudanças no uso do solo



Metrô / Linha 4, São Paulo



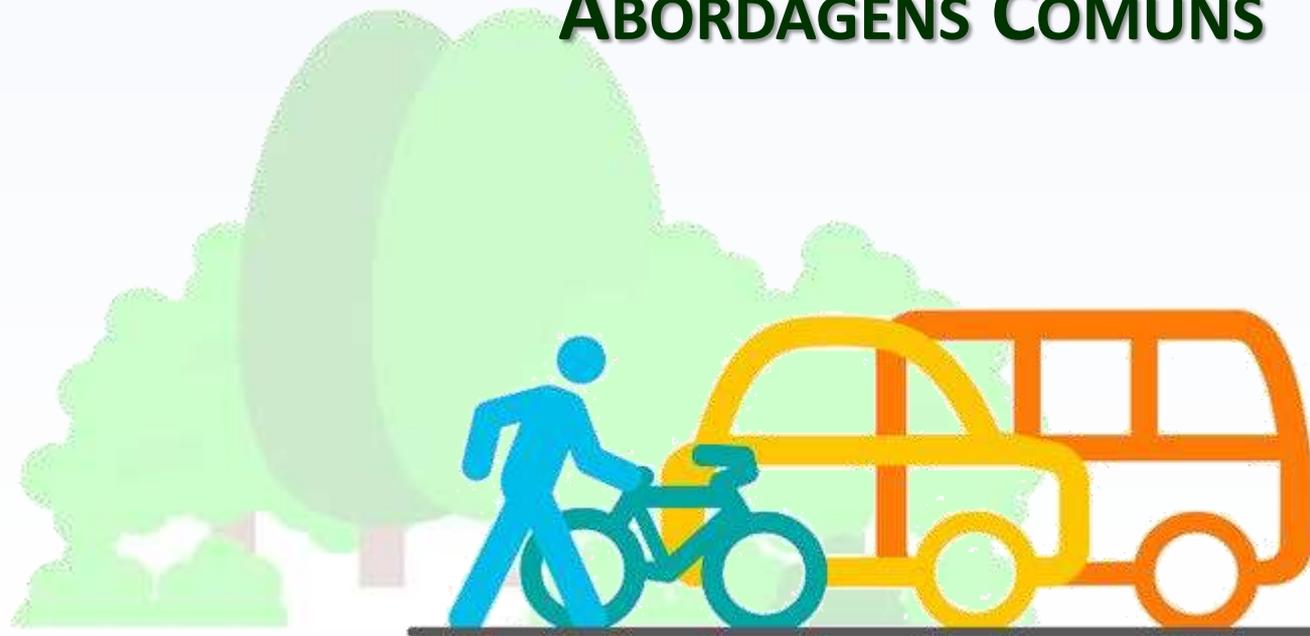
# Demanda de Projeto

- Medimos a demanda presente...
- Mas e a demanda *futura*?
- Métodos Sintéticos
  - Modelos de Expansão
    - Baseados em Matrizes O/D atuais
  - Modelos de Geração
    - Baseados em dados socioeconômicos
    - Gerar uma “O/D” sintética



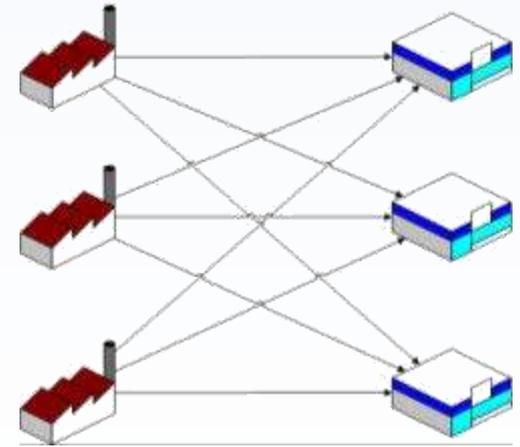
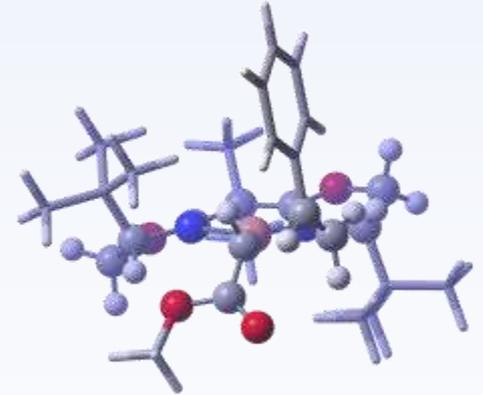
# MODELOS DE DEMANDA:

## ABORDAGENS COMUNS



# Conceito de Modelo

- Modelo: abstração da realidade
  - Conceitual, físico ou matemático
  - Reproduzir para análise
- Importância
  - Complexidade do problema
  - Dimensão do problema
  - Multiplicidade de interações



# Conceito de Modelo

- Modelo realista
  - Adequado à aplicação
    - Fundamento Teórico → causa e efeito (estado da arte)
    - Variáveis explicativas relevantes
    - Nível de detalhe
  - Produz resultados consistentes
    - Disponibilidade de dados
    - Calibrar
    - Validar



# Coleta de Dados

---

- Inventário de Transportes
  - Sistema Viário
  - Transporte Público
- Inventário de Atividades
  - Mapas/Zoneamentos
  - Polos geradores
- Pesquisa O-D Domiciliar
  - Dias úteis, típicos



# Tipos de Modelos

---

## Comportamento Individual x Demanda Agregada

- Modelos Agregados x Desagregados
  - Qualidade da Teoria x Qualidade dos Dados



# Abordagens Comuns

---

- Modelos Convencionais (ou agregados)
  - Não consideram os usuários individualmente
  - Modelo 4 Etapas
- Modelos de Escolha Discreta
  - Comportamentais Simples e Encadeados
    - Teoria do Consumidor: “custo” de viagem / utilidade
    - Indireto ao considerar comportamento



# Abordagens Comuns

---

- Modelos de Escolha Discreta (continuação)
  - Atitudinais
    - Incorpora percepção individual
    - Melhorar qualidade de sistemas já existentes
- Modelos Int. de Transportes e Uso do Solo
  - Interação: transportes x atividade x uso do solo
  - Processo cíclico até o equilíbrio



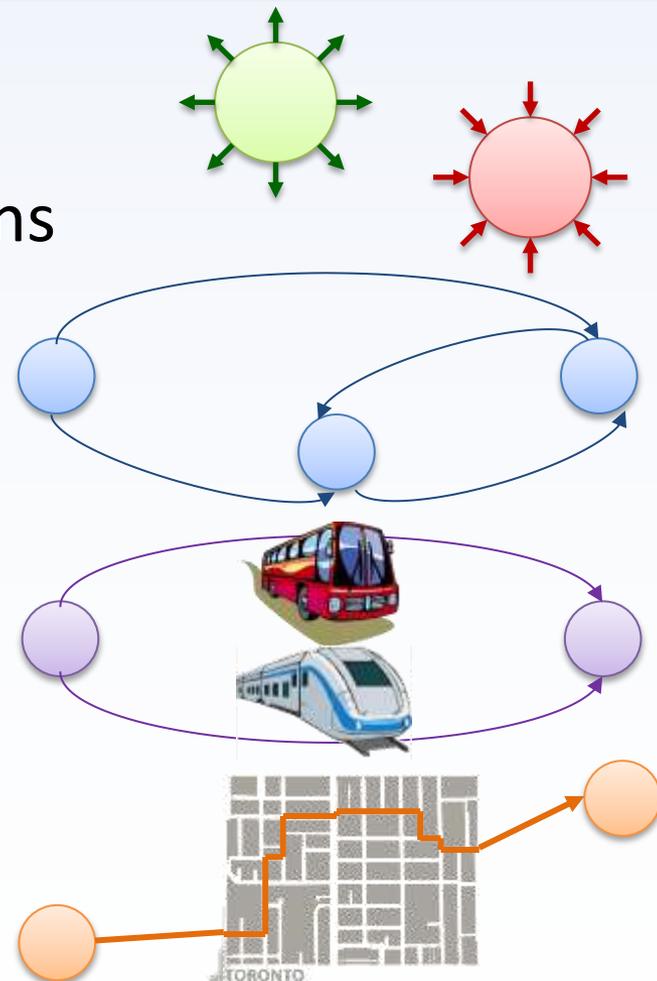
# MODELOS CONVENCIONAIS

# MODELO 4 ETAPAS



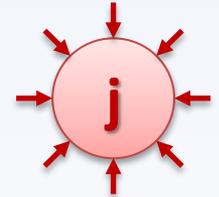
# Modelo 4 Etapas

- Análise em 4 Estágios
  - Produção e Atração de Viagens
    - Quantas?
  - Distribuição de Viagens
    - De onde? Para onde?
  - Divisão Modal
    - Por qual modo de transporte?
  - Alocação de Viagens
    - Por qual caminho?

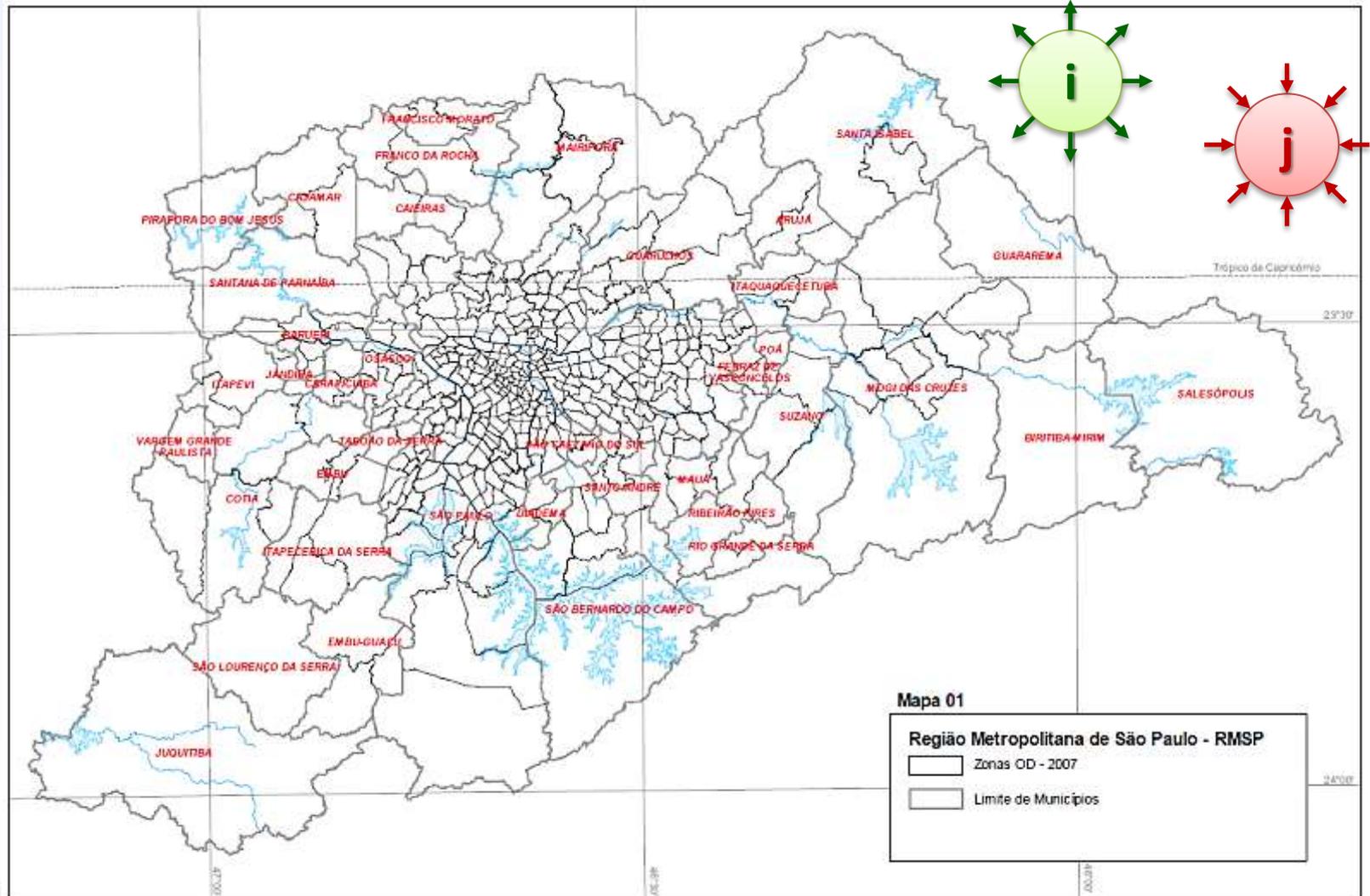


# Modelo 4 Etapas – Produção e Atração

- Região: zonas homogêneas
  - Variáveis Socioeconômicas
    - Renda, Acesso...

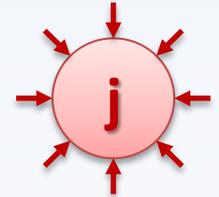


# Modelo 4 Etapas – Produção e Atração



# Modelo 4 Etapas – Produção e Atração

- Variáveis explicativas para Produção / Atração de Viagens



- Características Socioeconômicas

- Renda, Veículos, Acesso, Escolaridade, Sexo, Idade...

- Uso do Solo

- População (Moradias)
- Atividades (Emprego, Escolas, Lazer...)

- Momento (hora, dia, mês...)

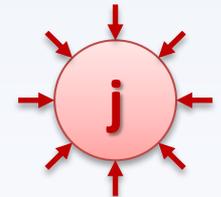


# Modelo 4 Etapas – Produção e Atração

- Produção de Viagens

- Função de variáveis S.E. e U.S.

- População, habitações, automóveis, renda...



$$P_i = f(SE_i, US_i)$$

← Regressão Linear Múltipla

- Exemplo:

$$P_i = 0,5 \cdot P_i + 0,145 \cdot H_i + 0,253 \cdot A_i$$

↑  
Produção

↑  
População

↑  
Habitações

↑  
Automóveis



# Modelo 4 Etapas – Produção e Atração

- Produção de Viagens

– Função de variáveis S F e I I S



$$Y_i = 9058 + 0,4663a_i + 2,2817b_i + 1,6221c_i + 3,9380d_i$$

(Implantação Metrô Rio)

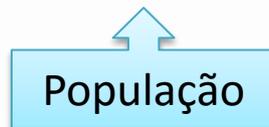
$Y_i$  = Viagens geradas     $c_i$  = Empregos indústria  
 $a_i$  = População         $d_i$  = Matrículas  
 $b_i$  = Empregos comércio     $i$  = zona escolares



Ministério das Cidades



$$P_i = 0,5 \cdot P_i + 0,145 \cdot H_i + 0,253 \cdot A_i$$

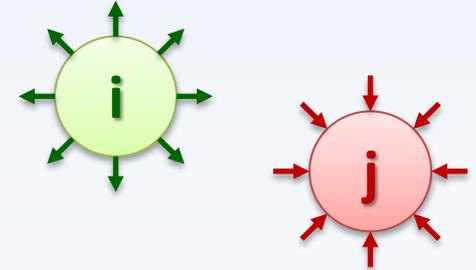


# Modelo 4 Etapas – Produção e Atração

- Atração de Viagens

- Função de variáveis S.E. e U.S.

- Pop., área construída, empregos, vagas em escola...



$$A_j = f(SE_j, US_j)$$

← Regressão Linear Múltipla

- Exemplo:

$$A_j = 0,0013 \cdot P_j + 0,357 \cdot E_j + 0,112 \cdot VE_j$$

Atração

População

Empregos

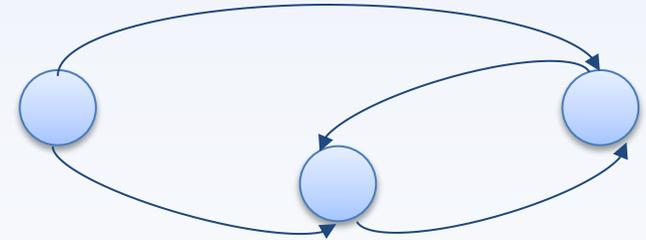
Vagas Escolares



# Modelo 4 Etapas – Distribuição

- Fluxo entre pares de zonas

$$F_{ij} = f(P_i, A_j)^*$$



- Pesquisa O/D: Fluxo Atual

$F_{43} = 2466$

O/D	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
Z1	7425	5734	4574	4345	2689	3676
Z2	6546	10234	3565	2355	1564	12420
Z3	1245	6557	5678	187	4564	2356
Z4	2467	1235	2466	12567	1237	3542
Z5	1456	4356	6533	4325	7683	5567
Z6	4577	345	768	3455	7655	8943

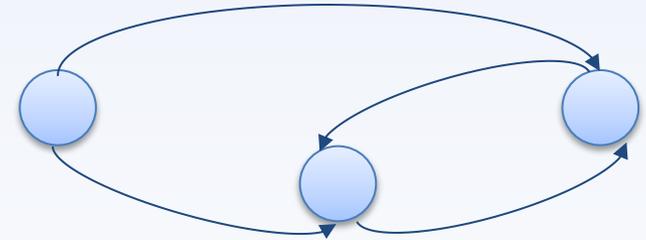
$P_1 = 28443$

$A_1 = 23716$



# Modelo 4 Etapas – Distribuição

- Fluxo entre pares de zonas
- Matriz O-D “Futura”
  - Expansão da Matriz O/D Atual



$$F'_{ij} = g_{ij} \cdot F_{ij}$$

- Fator Uniforme, Fator Médio, Fratar, Detroit
  - Puramente matemáticos, sem respaldo teórico
- Gravidade Geral

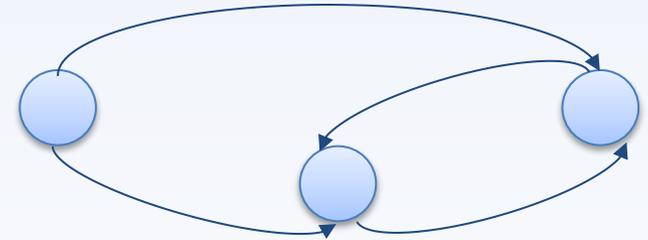
$$F = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2} \Rightarrow F_{ij} = k \cdot \frac{P_i \cdot A_j}{I_{ij}^\beta} \Rightarrow g_{ij} = \frac{k}{I_{ij}^\beta}$$

Calibrado com O/D Atual



# Modelo 4 Etapas – Distribuição

- Fluxo entre pares de zonas
- Matriz O-D “Futura”
  - Expansão da Matriz O/D Atual



$$F'_{ij} = g_{ij} \cdot F_{ij}$$

- Fator Uniforme, Fator Médio, Fratar, Detroit
  - Puramente matemáticos, sem respaldo teórico
- Gravidade Geral

$$F = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2} \Rightarrow F_{ij} = k \cdot \frac{P_i \cdot A_j}{I_{ij}^\beta} \Rightarrow g_{ij} = \frac{k}{I_{ij}^\beta}$$



# Modelo 4 Etapas – Distribuição

## Quanto “Custa” uma Viagem?

- F
- M
- Impedância: “resistência” de uma viagem
  - O quão “ruim” é aquela viagem (para usuário)
    - Custo Generalizado de Viagem: “custos” → \$
    - Tempo Generalizado de Viagem: “custos” → h:m:s
  - Custo Ambiental?

$$F = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2} \Rightarrow F_{ij} = k \cdot \frac{P_i \cdot A_j}{I_{ij}^\beta} \Rightarrow g_{ij} = \frac{\kappa}{I_{ij}^\beta}$$



# Modelo 4 Etapas – Divisão Modal

- Quais modos usados?
  - Competição entre modos
  - Comportamento do usuário
- Fatores que Influenciam a divisão
  - Características do viajante
    - Posse/disponibilidade de auto
    - Renda
  - Característica da viagem
    - Motivo
    - Período



# Modelo 4 Etapas – Divisão Modal

- Fatores que Influenciam
  - Carac. Sistema de transporte



## Quantitativos

- Tempo de viagem
  - No veículo (em cada modo)
  - Andando / Espera / Proc. vaga
- Custos monetários
  - Tarifa (Transp. / Estacion.)
  - Pedágios

Impedância

Custo Generalizado

## Qualit

- Conforto e conveniência
- Confiabilidade e regularidade
- Segurança



# Modelo 4 Etapas – Divisão Modal

- Quais modos usados?
- Dividir fluxo
  - Modelo Logit Multinomial



$$p^k_{ij} = \frac{e^{-\lambda \cdot c^k_{ij}}}{\sum_k e^{-\lambda \cdot c^k_{ij}}} \quad \sum_k p^k_{ij} = 1$$

- Onde:
  - $p^k_{ij}$ : probabilidade de uso do modo  $k$  de  $i$  para  $j$
  - $c^k_{ij}$ : custo generalizado de  $i$  para  $j$  pelo modo  $k$
  - $\lambda$ : parâmetro do modelo (calibragem)



# Modelo 4 Etapas – Alocação

- Qual o caminho?
  - Vias / Linhas
  - Considerar
    - Tempo/Custo de deslocamento
    - Capacidade das ligações
  - Algoritmo de Caminho Mínimo
    - Dijkstra (label correcting), Moore etc.
- Tudo ou Nada x Iterativo
  - Congestionamento → Aumenta “custo” da viagem!



# Limitações do Modelo 4 Etapas

- Percepção e reação do usuário?
  - “Impedância” é agregada
    - Não entra na produção/atração!
  - Transporte público grátis?
- Avaliar mudanças mais complexas
  - Integrações entre modais?
- Ausência de Feedback
  - Interações transporte ↔ Uso do solo



**VISÃO GERAL:**

# **MODELOS DE ESCOLHA DISCRETA**



# Modelos de Escolha Discreta

---

- Teoria do Consumidor
  - Adquirir Serviço de Transporte...
    - Série de decisões
    - Elencar opções e escolher a mais desejável
    - Pacote Complexo:
      - Vai ou não realizar o deslocamento?
      - Qual o destino? Quais opções?
      - Quando realizar?
      - Qual modo de transporte?
      - Qual rota utilizar?



# Modelos de Escolha Discreta

- Comportamentais
  - Usuário sabe avaliar dificuldades
  - Indireto ao considerar o comportamento
    - Função de Utilidade (apenas para comparação!)

$$U = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot t + \alpha_2 \cdot c$$

$$U = \alpha_0 \cdot t^{\alpha_1} \cdot c^{\alpha_2}$$

- Escolha: Logit Binomial ou Multinomial

$$P_k = \frac{e^{U_k}}{\sum_i e^{U_i}}$$



# Modelos de Escolha Discreta

- Modelos Atitudinais
  - Incorporar a percepção individual
    - Preferência Declarada (x Revelada)

Preferência Revelada	Preferência Declarada
<ul style="list-style-type: none"><li>• Avaliação do sistema existente</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Avaliação de mudanças hipotéticas</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Erros de medida (esquecimento etc.)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Não há erros de medida</li></ul>

- Avaliar diferenças: Utilidade x Percepção
  - Direto (Lento) x Baldeação (Rápido)
  - Campanhas de esclarecimento



# Modelos de Escolha Discreta

---

- Modelos Atitudinais
  - Usados em sistemas já implantados (operação!)
    - Avaliar o Nível de Serviço oferecido!
      - Ampliar / Modificar a oferta → melhorar qualidade
  - Mudanças nos sistemas existentes
    - Avaliar mudanças de comportamento
  - Não são modelos genéricos
    - Exigem informações detalhadas e específicas
    - Entrevistas e questionários
    - Limitados para prever demanda



# DESENVOLVIMENTO DO TRANSPORTE URBANO E A CIDADE



# Desenvolvimento Tradicional

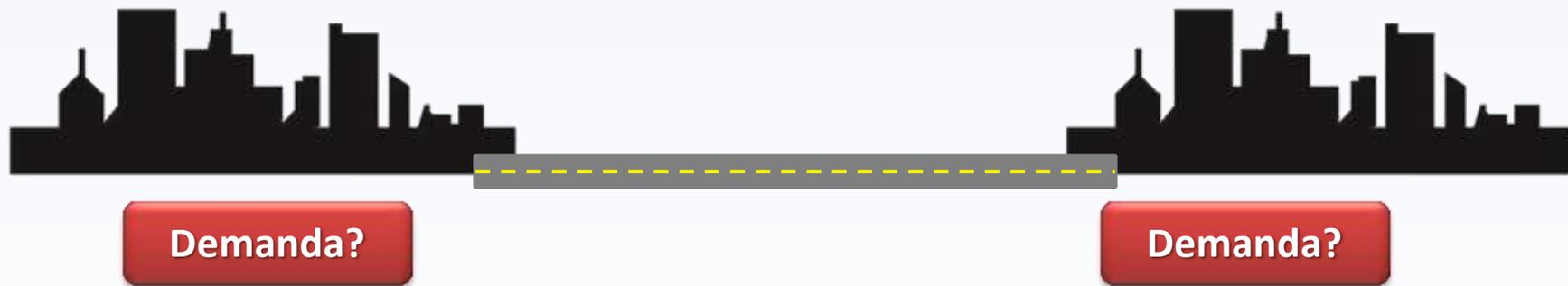
---

- O transporte muda o espaço urbano?



# Desenvolvimento Tradicional

- O transporte muda o espaço urbano?



# Desenvolvimento Tradicional

---

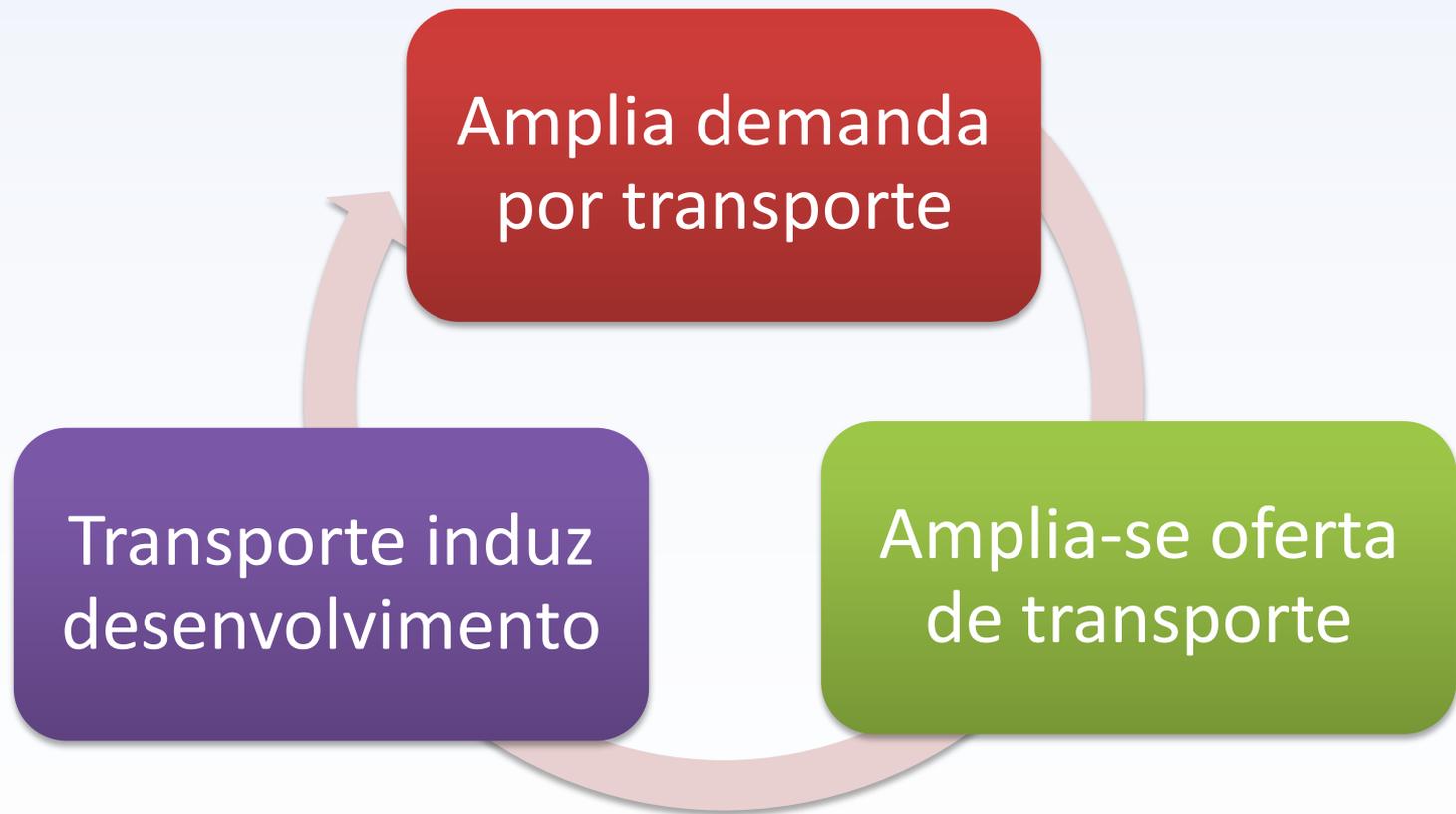
- O transporte muda o espaço urbano?



**Demanda?**



# Desenvolvimento Tradicional



# Desenvolvimento Tradicional

- Visão tradicional:
  - Prever a Demanda → Prover Transporte
    - Qualquer transporte...?
- Resultado...?



# Desenvolvimento Sustentável

---

- Prever e Prover cegamente?
  - Especulação imobiliária?
    - Paulista, Faria Lima, Berrini...
    - Alphaville: Rodovia Castello Branco
- Planejamento vinculado ao desenvolvimento
  - Foco na qualidade de vida
  - Onde e como se deseja desenvolver?
  - Que cidade desejamos?
    - Minimizar a necessidade de transporte?



# Desenvolvimento Sustentável

---

- Definir e Executar
  - Plano Diretor Municipal
  - PITU: Plano Integrado de Transportes Urbanos
- Interações complexas
  - Evolução da situação socioeconômica
  - Mudanças no uso do solo
- Modelos vistos: interações são exógenas!
- Existem modelos integrados?

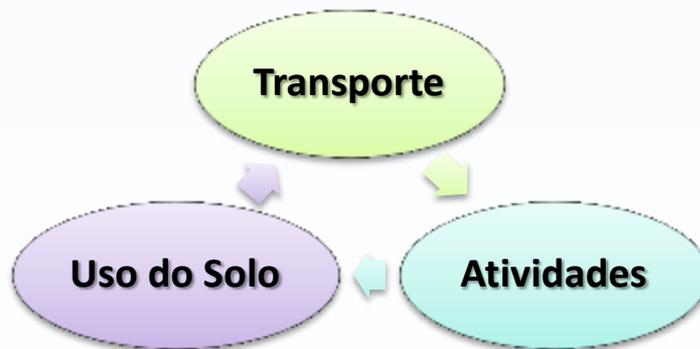


# MODELOS INTEGRADOS DE USO DO SOLO E TRANSPORTES



# Modelos Tradicionais x Integrados

- Modelos Tradicionais
  - Uso do Solo e Atividades: exógenos
  - Determinação: demanda, fluxos e rotas
- Modelos Integrados
  - Uso do Solo e Atividades: **endógenos**



Interação cíclica  
até o equilíbrio



# Modelos Integrados

---

- Objetivo: prever padrões de desenvolvimento
  - Uso do Solo
  - Sistemas de Transporte
- Foco: definição de políticas públicas
  - Evitar saturação da infraestrutura de transporte



# Modelos Integrados - Esquema

---

- Diversas variações de implementação
- Esquema geral:
  - A. Local das atividades: definido pelo uso do solo
  - B. Demanda/O oferta: modelo comportamental
  - C. Custo dos deslocamentos: interfere no uso do solo
    - Custo dos imóveis
    - Ausência de demanda para atividades
  - D. Reinicia o processo A



# Modelos Integrados - Exemplos

---

- MEPLAN (1969)
  - Pioneiro
- TRANUS (1982)
  - Avaliar interações socioeconômicas e ambientais
  - Aplicado em várias cidades (Swindon, Sapporo...)
- ILUMASS (2003)
  - Simula fluxo tráfego (escala micro)
- MARS (2003)
  - Relações Causa/Efeito, desenvolvido para Viena
- ABSOLUTE (2004)
  - Demanda de atividades: atividades individuais



# Modelos Integrados Modernos

---

- Transportes + Atividades + Uso do Solo... Ok!
  - Mas e o ambiente?
- Integrar, adicionalmente:
  - Emissão de poluentes (veiculares ou não)
  - Dissipação de poluentes
  - Qualidade do ar e temperatura



# CONCLUSÕES



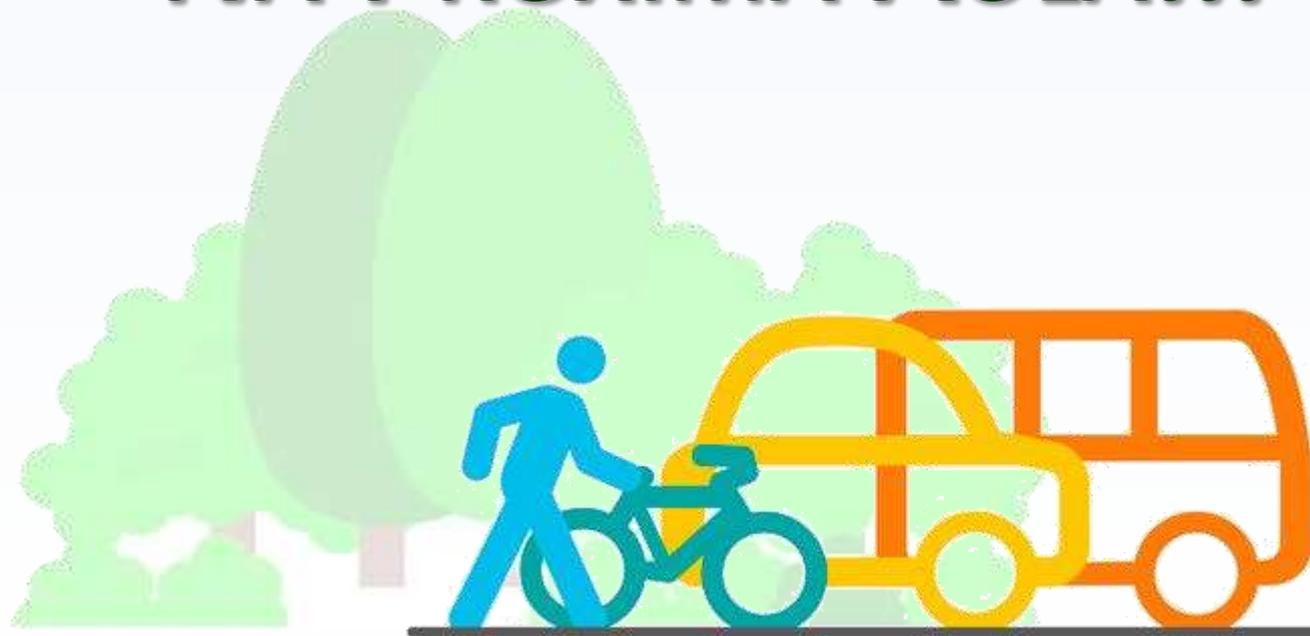
# Resumo

---

- Demanda por viagens: fundamental
- Há diversas maneiras de modelar a demanda
  - Melhor modelo: finalidade
- Modelo 4 Etapas: Prático
  - Calibração pode ser complexa
- Usos diferentes...
  - Modelos diferentes
- Transporte x Desenvolvimento
  - Modelos Integrados



# NA PRÓXIMA AULA...



# Preview!

---

- Oferta de Transporte: Capacidade e Modos
  - Principais Modos de Transporte Público
  - Planejamento de Oferta de Transporte Público
  - O Conceito de Capacidade
  - Níveis de Serviço de Operação
  - Infraestrutura de Transporte Público



# Referências

---

- CAETANO, D.J. (2005) Um Sistema Informatizado de Apoio a Usuários de Transporte Coletivo. Dissertação. USP/São Paulo.
- METRO (2008) Pesquisa Origem e Destino 2007: Região Metropolitana de São Paulo – Síntese das Informações / Pesquisa Domiciliar.
- NOVAES, A.G.N. (1986) Sistemas de Transportes (3 volumes). Editora Edgard Blucher.
- ORTÚZAR, J.D; WILLUMSEN, L.G. (2001) Modeling Transport. John Willey & Sons.
- PAPACOSTAS, C.S. (1987) Fundamentals of Transport Engineering, Prentice Hall.
- STRAMBI, O. Planejamento de Transportes Urbanos - Notas de Aula. EPUSP, São Paulo, 1999.
- STRAMBI, O. e PIETRANTONIO, H. Modelagem no Planejamento de Transportes - Notas de Aula. EPUSP, São Paulo, 1990.



# DÚVIDAS?

