

# ANEL METROVIÁRIO NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO



# Integrantes:

Juliana Tosta de Araújo

Mariana Passos Pádua

Tamires Azeredo Frauche

# Orientador:

Me. Cauê Sauter Guazzelli

# Introdução

- Serviços de transportes: desenvolvimento econômico;
- Grande demanda: tempo de viagem;
- Anel Metroviário: diminuir fluxo de usuários.



FONTE: Metrô, 2016.

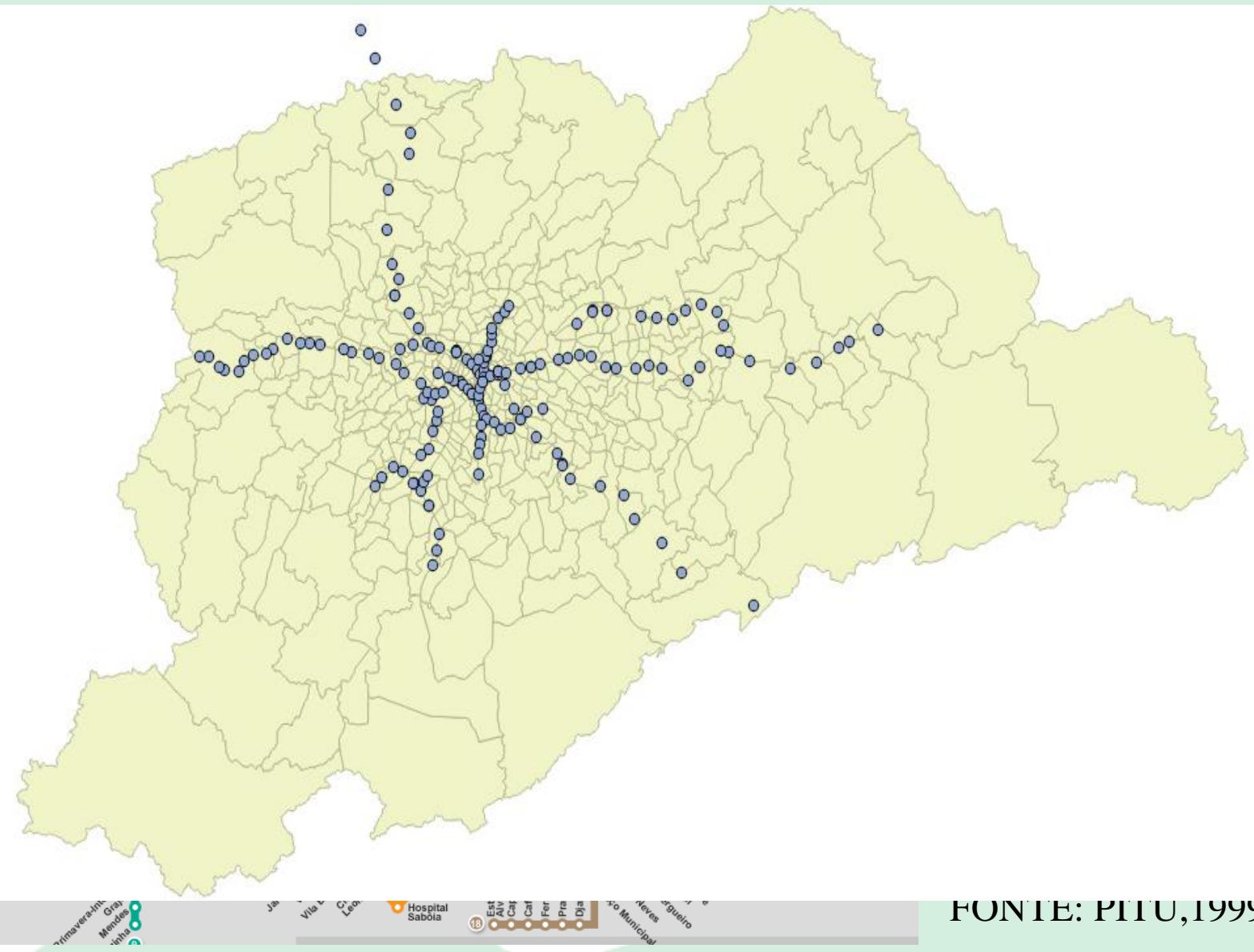
# Justificativa

- População nos centros
- Linhas circulares: concentração
- Redução do movimento
- Exemplos mundo afora



FONTE: Moscow Metro Service, 2016.

- Malha atual;
- PITU: Projeção

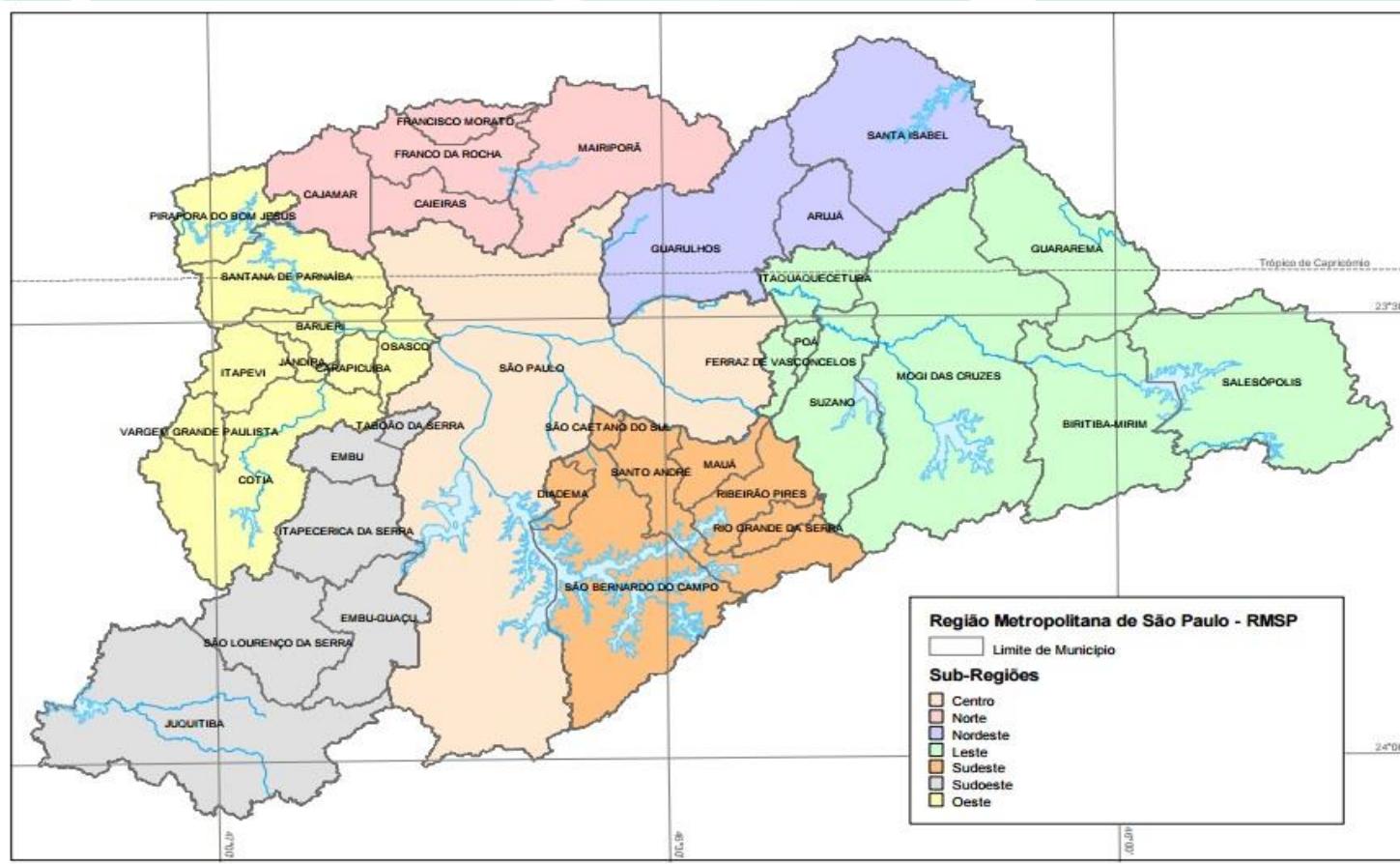


FONTE: Autores.

FONTE: PITU,1999.

# Região Metropolitana de São Paulo

- Condensamento populacional;

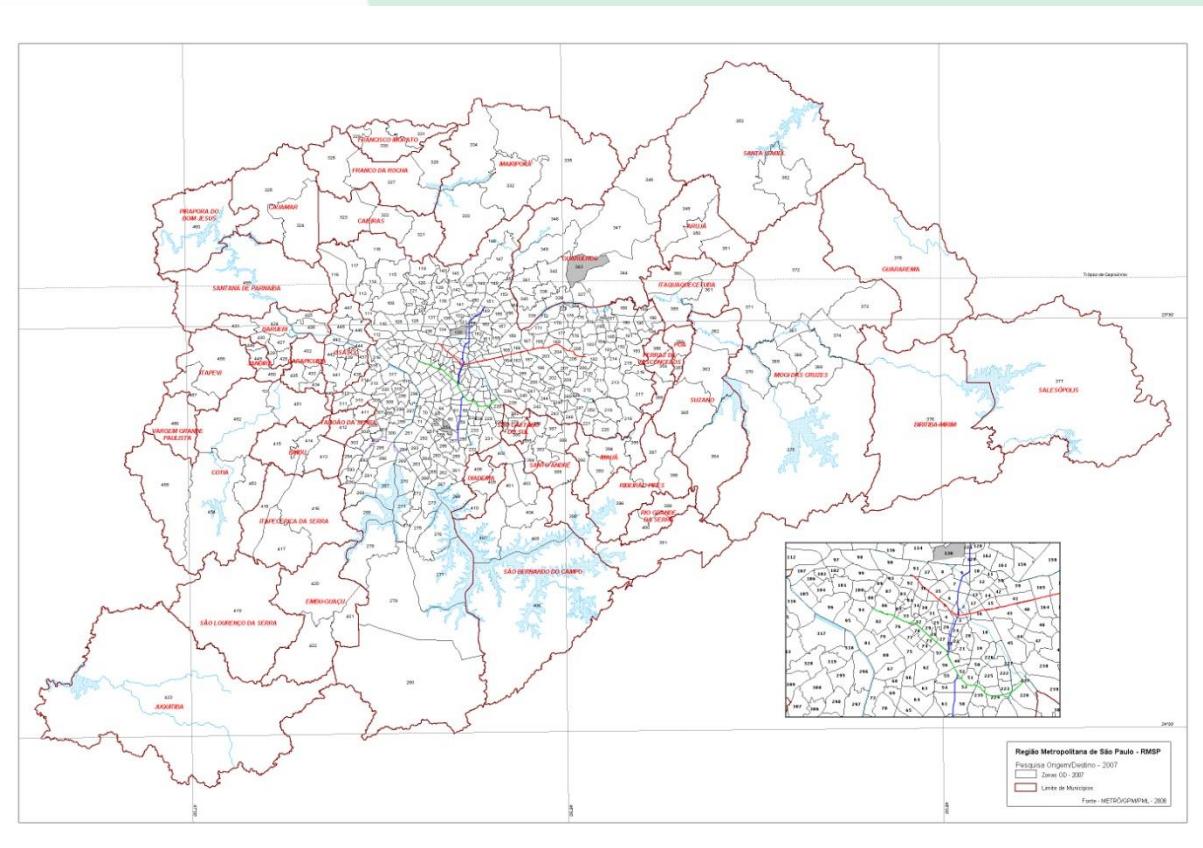


FONTE: Autores.

# Região Metropolitana de São Paulo

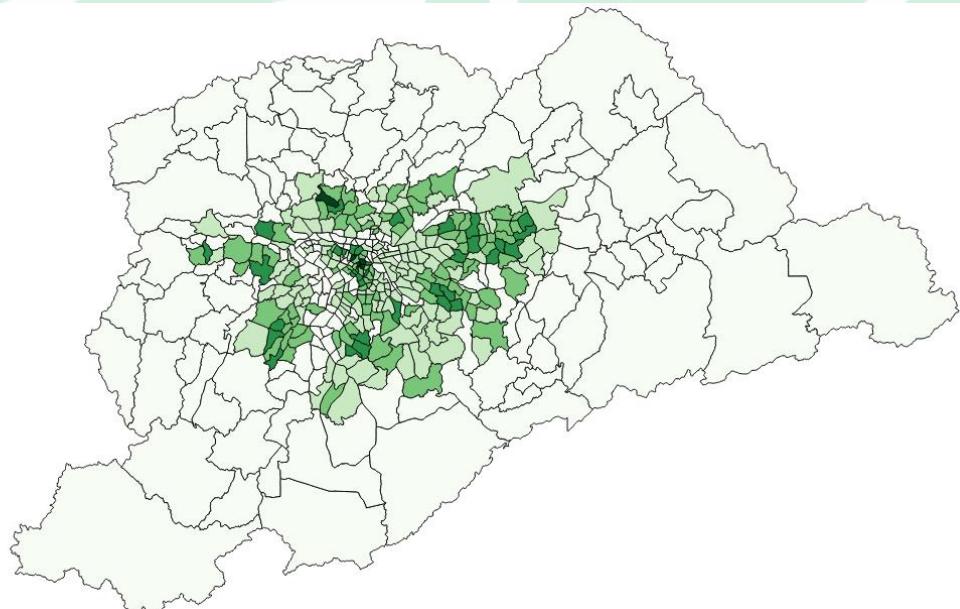
- Censo 2010:
  - Taxa de crescimento populacional;
- Pesquisa origem e destino:
  - Zoneamento;
  - Viagens atraídas;
  - Viagens produzidas.

FONTE: Autores.



# Região Metropolitana de São Paulo: Análise de Dados

- População;



## TOTAL POPULAÇÃO POR ZONAS NA CIDADE DE SÃO PAULO

|                  |              |
|------------------|--------------|
| 1.757.557        | NORDESTE     |
| 1.577.465        | SUL          |
| 1.390.908        | LESTE        |
| 1.267.033        | CENTRO       |
| <b>1.182.760</b> | <b>NORTE</b> |
| 1.109.064        | SUDESTE      |
| 1.021.738        | NOROESTE     |
| 860.054          | SUDOESTE     |
| 730.060          | OESTE        |

## TOTAL POPULAÇÃO POR ZONAS NA RMSP

|                |                     |
|----------------|---------------------|
| 2.576.641      | Região Sudeste      |
| 2.030.319      | Região Oeste        |
| 1.400.304      | Região Nordeste     |
| 1.377.616      | Região Leste        |
| 745.275        | Região Sudoeste     |
| <b>507.826</b> | <b>Região Norte</b> |

# Região Metropolitana de São Paulo: Análise de Dados

- Emprego;
- Matrículas Escolares.

## TOTAL MATRÍCULAS ESCOLARES POR ZONAS NA CIDADE DE SÃO PAULO

|                |              |
|----------------|--------------|
| 656.263        | CENTRO       |
| 480.462        | NORDESTE     |
| 379.967        | SUL          |
| 327.308        | LESTE        |
| <b>307.519</b> | <b>NORTE</b> |
| 262.402        | SUDOESTE     |
| 231.170        | NOROESTE     |
| 221.338        | SUDESTE      |
| 208.055        | OESTE        |

## TOTAL MATRÍCULAS ESCOLARES POR ZONAS NA RMSP

|                |                     |
|----------------|---------------------|
| 719.710        | Região Sudeste      |
| 503.322        | Região Oeste        |
| 328.706        | Região Leste        |
| 321.650        | Região Nordeste     |
| 167.012        | Região Sudoeste     |
| <b>121.428</b> | <b>Região Norte</b> |

FONTE: Autores.

# Região Metropolitana de São Paulo: Análise de Dados

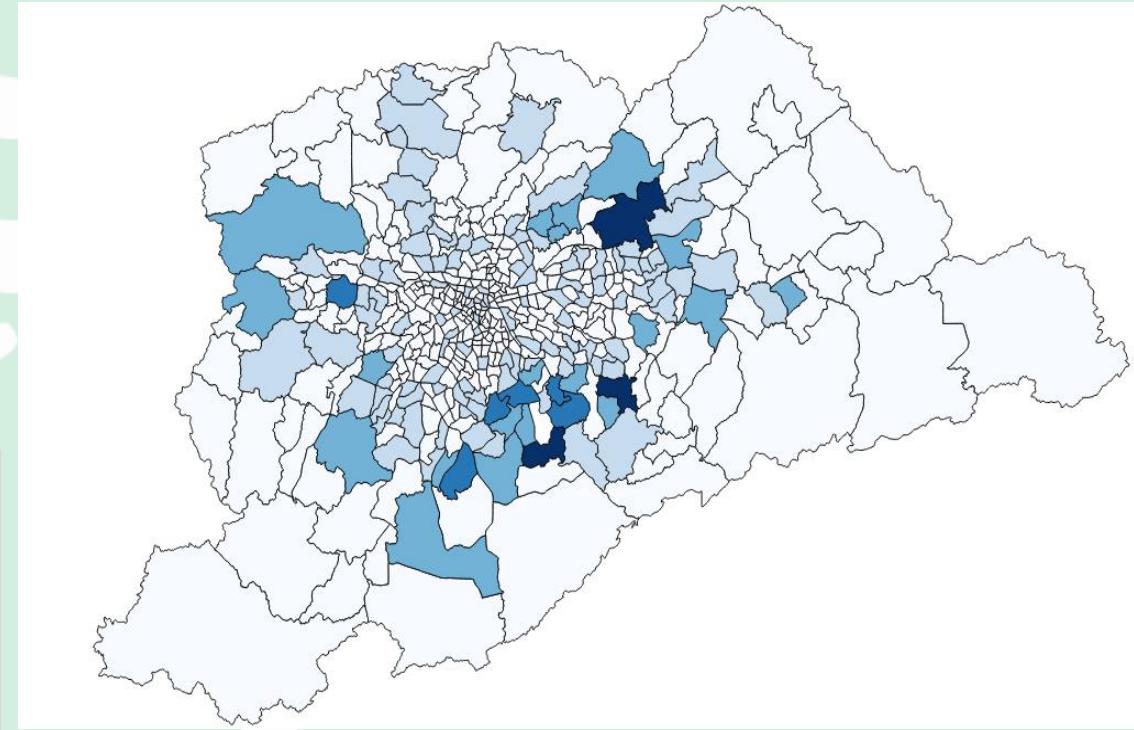
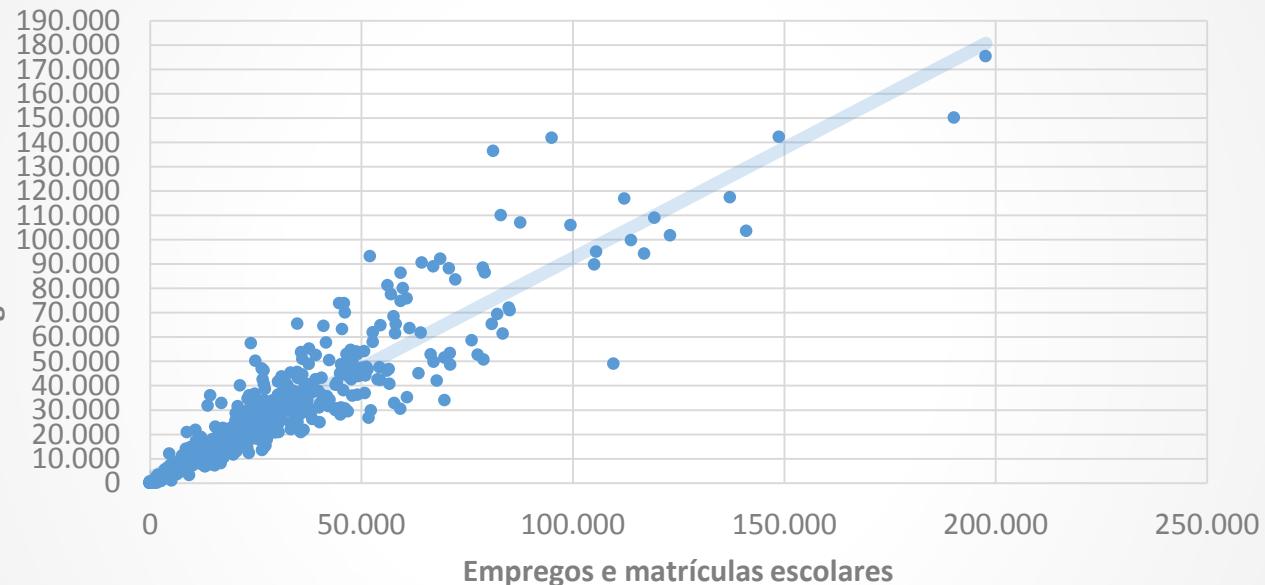
- Evolução das viagens diárias;

| MODO           | VIAGENS |      |         |      |         |      |         |      |         |      |
|----------------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|
|                | 1967    |      | 1977    |      | 1987    |      | 1997    |      | 2007    |      |
|                | (x1000) | %    |
| Coletivo       | 4.894   | 68,1 | 9.580   | 62,8 | 10.455  | 56,1 | 10.473  | 51,2 | 13.913  | 55,3 |
| Individual     | 2.293   | 31,9 | 5.683   | 37,2 | 8.187   | 43,9 | 9.985   | 48,4 | 11.254  | 44,7 |
| Motorizado     | 7.187   | 100  | 15.263  | 100  | 18.642  | 100  | 20.458  | 100  | 25.167  | 100  |
| Bicicleta      | -       | 0    | 71      | 1    | 108     | 1    | 162     | 2    | 304     | 2,4  |
| A pé           | -       | 0    | 5.970   | 99   | 10.650  | 99   | 10.812  | 99   | 12.623  | 97,6 |
| Não Motorizado | 0       | 0    | 6.041   | 100  | 10.758  | 100  | 10.974  | 100  | 12.927  | 100  |
| TOTAL          | 7.187   |      | 21.304  |      | 29.400  |      | 31.432  |      | 38.094  |      |

FONTE: Autores.

# Região Metropolitana de São Paulo: Análise de Dados

- Viagens coletivas produzidas;
- Viagens totais atraídas;



FONTE: Autores.

# Modelo Quatro Etapas

- Planejamento de transportes;
- Demanda futura;
- Quatro etapas:
  - Geração de viagens;
  - Distribuição de viagens (Fratar);
  - Divisão Modal;
  - Alocação de Tráfego.



# Modelo Fratar

- Matriz ano base – Matriz viagem total (Pesquisa O/D 2007);
- Projeções de população; vagas de emprego e matrículas escolares;
- Viagens Produzidas:
  - Proporcional a população;
  - Outras 7 zonas com dados mais recentes;
- Viagens Atraídas:
  - Emprego:

|                      | 2007       | 2015       |            | NÚMERO ZONAS | NOME ZONAS        | TAXA POR ANO (%) |                 |
|----------------------|------------|------------|------------|--------------|-------------------|------------------|-----------------|
|                      |            |            | DECRESERAM | 155          | Vila Medeiros     | 0,84             | 0,68362157      |
|                      |            |            |            | 112          | Jaguará - Iapa    | 0,825            | 0,67141404      |
|                      |            |            |            | 253          | Campo Belo        | 0,785            | 0,63886063      |
|                      |            |            |            | 95           | Alto de Pinheiros | 0,72             | 0,58596134      |
|                      |            |            |            | 127          | Santana           | 0,685            | 0,55747711      |
|                      |            |            | CRESERAM   | 117          | Anhanguera        | 21,5             | 17,4974568      |
| SÃO PAULO            | 10.896.639 | 11.967.000 |            | 116          | Morro Doce        | 21,5             | 17,4974568      |
| REGIÃO METROPOLITANA | 19.534.620 | 20.945.036 |            | 7.220        |                   |                  | FONTE: Autores. |

# Modelo Fratar

- Matriz Futura:

| ZONAS | EMPREGO<br>2007 | EMPREGO<br>2015 | # PESSOAS<br>TRABALHAM E QUEREM<br>TRABALHAR 2015 | EMPREGO<br>2016 | MATRÍCULA<br>2007 | MATRÍCULA<br>2016 | EMPREGO +<br>MATRÍCULA<br>2016 | VIAGENS<br>ATRAÍDAS |
|-------|-----------------|-----------------|---|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|---------------------|
| 1     | 91.678          | 98.436          | 113.798   | 94.225          | 7.842             | 7.987             | 102.212                        | 179.339             |
| 2     | 54.089          | 58.076          | 67.140  | 55.592          | 2.103             | 2.142             | 57.734                         | 101.298             |
| 3     | 21.368          | 22.943          | 26.523  | 21.961          | 4.102             | 4.177             | 26.139                         | 45.862              |
| 4     | 37.169          | 39.908          | 46.137  | 38.201          | 7.111             | 7.242             | 45.444                         | 79.734              |
| 5     | 114.708         | 123.164         | 142.386   | 117.895         | 4.654             | 4.739             | 122.635                        | 215.172             |
| 6     | 49.742          | 53.409          | 61.744  | 51.124          | 3.000             | 3.055             | 54.179                         | 95.061              |
| 7     | 44.822          | 48.126          | 55.638  | 46.068          | 13.239            | 13.484            | 59.552                         | 104.488             |
| 8     | 15.586          | 16.735          | 19.347  | 16.019          | 3.011             | 3.066             | 19.085                         | 33.486              |
| 9     | 18.531          | 19.897          | 23.002  | 19.046          | 4.388             | 4.469             | 23.515                         | 41.259              |
| 10    | 6.503           | 6.982           | 8.072   | 6.683           | 5.531             | 5.633             | 12.316                         | 21.610              |

FONTE: Autores.

$$Viagens\ Atraídas\ por\ Dia = (Emprego\ 2016 + Matrícula\ 2016) * 1,7546$$

| TAXA MÉDIA (QUANTIDADE DE VIAGENS POR DIA) |            |
|--|------------|
| SOMA EMPREGO + MATRÍCULA 2007              | 14.316.462 |
| SOMA ANO BASE- VIAGENS                     | 25.119.258 |
| TAXA                                       | 1,7546     |

FONTE: Autores.

# Modelo Fratar

- Taxa geral de população:

| ZONAS       | 1      | 2      | 3     | 4     | 5      | ... | 458   | 459   | 460  | Total Geral       | TAXA     |
|-------------|--------|--------|-------|-------|--------|-----|-------|-------|------|-------------------|----------|
| 1           |        | 4000   | 2696  | 905   | 2176   | ... | 0     | 344   | 0    | 150075            | 0,005974 |
| 2           | 4774   |        | 1189  | 409   | 886    | ... | 0     | 0     | 0    | 116134            | 0,004623 |
| 3           | 2520   | 1189   |       | 631   | 537    | ... | 0     | 82    | 0    | 50349             | 0,002004 |
| 4           | 931    | 483    | 481   |       | 2366   | ... | 0     | 0     | 0    | 74921             | 0,002983 |
| 5           | 4276   | 384    | 1112  | 2529  |        | ... | 1315  | 308   | 0    | 154331            | 0,006144 |
| ...         | ...    | ...    | ...   | ...   | ...    | ... | ...   | ...   | ...  | ...               | ...      |
| 458         | 0      | 0      | 0     | 0     | 1135   | ... |       | 1668  | 0    | 79004             | 0,003145 |
| 459         | 344    | 0      | 0     | 0     | 308    | ... | 1668  |       | 2638 | 52241             | 0,00208  |
| 460         | 0      | 0      | 0     | 0     | 0      | ... | 0     | 2550  |      | 4726              | 0,000188 |
| Total Geral | 150268 | 118049 | 49427 | 76249 | 154734 | ... | 77581 | 53407 | 4732 | <b>25.119.258</b> |          |

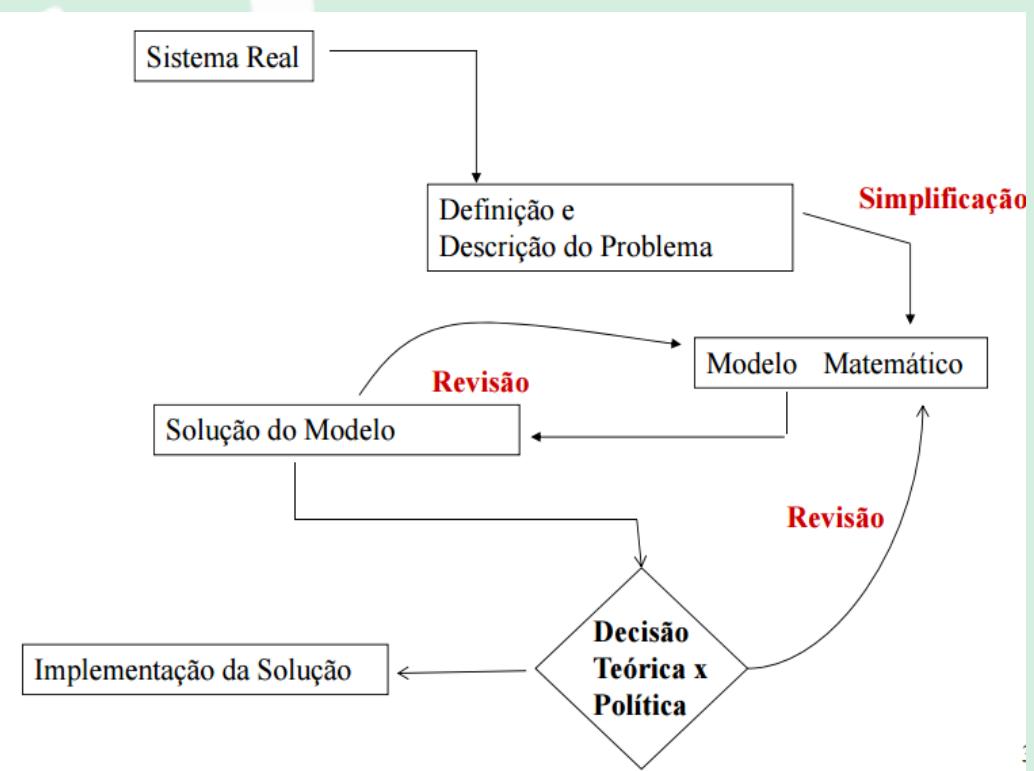
FONTE: Autores.

- Zonas que cresceram e decresceram.

# Modelo Matemático

- Modelo Quatro Etapas (premissa);
- Auxilia a tomada de decisões;
- Pesquisa operacional:
  - Variáveis de decisão;
  - Restrições;
  - Função objetivo.

FONTE: Arenales, M., UNESP, 2007.



# Modelo Matemático

- Região de interesse;
  - 52 zonas.
- Candidatos para o modelo;
  - 24 zonas.

| ZONA | NOME                  | ZONA | NOME                |
|------|-----------------------|------|---------------------|
| 99   | Lapa                  | 143  | ETA Guaraú          |
| 130  | Parque Anhembi        | 149  | Parada Inglesa      |
| 131  | Alfredo Pujol         | 151  | Vila Gustavo        |
| 132  | Santa Terezinha       | 154  | Parque Edu Chaves   |
| 133  | Jardim São Paulo      | 155  | Vila Medeiros       |
| 134  | Casa Verde            | 156  | Jardim Brasil       |
| 135  | Parque Peruche        | 157  | Jardim Japão        |
| 136  | Limão                 | 158  | Parque Novo Mundo   |
| 137  | Casa Verde Alta       | 159  | Vila Maria          |
| 138  | Cachoeirinha          | 160  | Vila Isolina Mazzei |
| 140  | Reserva da Cantareira | 161  | Vila Guilherme      |
| 141  | Mandaqui              | 162  | Coroa               |



FONTE: Autores.

# Modelo

- Premissas
  - Relação
  - Distâncias
  - $d = 6371 \text{ km}$

$$\text{sen} \frac{\pi(90 - \text{latB})}{180}$$

| ZN CIDADE DE SP | SOMA produzidas | % Viagem Produzidas | Viagens Coletivas Produzidas | SOMA atraídas | % Viagem Atraídas | Viagens Coletivas Atraídas |
|-----------------|-----------------|---------------------|------------------------------|---------------|-------------------|----------------------------|
| 99              | 124378          | 56,82%              | 70672                        | 102558        | 55,77%            | 57197                      |
| 130             | 11274           | 45,90%              | 5174                         | 28306         | 43,87%            | 12419                      |
| 131             | 39126           | 38,85%              | 15200                        | 15735         | 37,21%            | 5855                       |
| 132             | 27029           | 36,55%              | 9879                         | 19478         | 38,54%            | 7506                       |
| 133             | 43986           | 32,46%              | 14278                        | 25349         | 36,40%            | 9228                       |
| 134             | 27583           | 35,53%              | 9800                         | 11138         | 35,63%            | 3969                       |
| 135             | 24553           | 34,75%              | 8532                         | 19957         | 35,14%            | 7012                       |
| 136             | 18073           | 50,50%              | 9127                         | 26869         | 50,30%            | 13514                      |
| 137             | 44128           | 30,01%              | 13244                        | 23357         | 28,27%            | 6602                       |
| 138             | 54621           | 39,58%              | 21621                        | 9581          | 39,79%            | 3812                       |
| 139             | 35928           | 50,03%              | 17976                        | 0             | 49,37%            | 0                          |
| 140             | 0               | 0,00%               | 0                            | 20179         | 0,00%             | 0                          |
| 141             | 40790           | 35,54%              | 14495                        | 1772          | 34,31%            | 608                        |
| 142             | 3782            | 27,00%              | 1021                         | 0             | 28,76%            | 0                          |
| 143             | 0               | 0,00%               | 0                            | 8890          | 0,00%             | 0                          |
| 144             | 20837           | 34,01%              | 7086                         | 7311          | 32,76%            | 2395                       |
| 145             | 18852           | 35,20%              | 6635                         | 1068          | 34,78%            | 371                        |
| 148             | 56576           | 37,21%              | 21050                        | 11333         | 38,58%            | 4373                       |
| 149             | 28379           | 34,43%              | 9770                         | 8712          | 31,01%            | 2701                       |
| 150             | 20946           | 39,05%              | 8180                         | 8195          | 37,02%            | 3034                       |
| 151             | 29269           | 35,06%              | 10261                        | 7184          | 32,72%            | 2351                       |
| 152             | 17785           | 35,36%              | 6289                         | 22695         | 32,96%            | 7480                       |
| 153             | 46426           | 28,19%              | 13086                        | 4363          | 28,81%            | 1257                       |
| 154             | 12097           | 21,10%              | 2552                         | 14541         | 20,09%            | 2921                       |
| 155             | 22435           | 23,76%              | 5330                         | 19433         | 23,67%            | 4600                       |
| 156             | 39736           | 29,60%              | 11763                        | 32757         | 30,06%            | 9846                       |
| 157             | 43906           | 28,47%              | 12498                        | 36137         | 28,26%            | 10212                      |
| 158             | 33347           | 19,47%              | 6491                         | 45833         | 20,39%            | 9344                       |
| 159             | 31242           | 36,86%              | 11514                        | 14713         | 34,12%            | 5020                       |
| 160             | 30093           | 36,88%              | 11099                        | 11757         | 38,52%            | 4529                       |
| 161             | 13321           | 56,56%              | 7535                         | 21202         | 50,84%            | 10780                      |
| 162             | 17195           | 42,65%              | 7334                         | 0             | 44,99%            | 0                          |

FONTE: Autores.

# Modelo Matemático

- Variáveis de decisão:
  - Matriz binária que identifica a localização das estações;
  - Matriz binária que simplifica o destino da demanda de cada zona;
  - Matriz binária que identifica a sequência do traçado;
  - Matriz não binária que identifica a quantidade das estações que faltam passar no percurso.

$$y = \frac{u}{v}, \frac{dy}{dx} = u \frac{du}{dx} + v \frac{du}{dx} \quad y = \left( \frac{1+ax^2}{1+bx^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$
$$\pi + 1 \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{x^n}{n} \quad x = y^2 \quad z = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (x_n - n)}$$
$$z = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \sin \frac{nx}{L} \quad f(x) = x + x_0 y$$
$$E = mc^2 \quad \sqrt{1 + \frac{p^2}{m^2 c^2}} \quad x^2 + 3y^2 - 7x - 8$$
$$x + 3 = 5 \quad (x+a)^n \quad 1.37\pi \phi$$
$$M = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad a^2 = c^2 - b^2$$
$$dx = c \sin u \quad \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad h \quad r_2 \quad r$$
$$x = \frac{b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

# Modelo Mate

- Restrições:
    - Fixação das estações
    - Garantia sequêncial
    - Traçado com distância
    - Distribuição de demanda
    - Não ocorra subciclos
    - Custo de investimento
      - R\$ 300.000.000,00
      - R\$ 700.000.000,00



FONTE: PITU,1999.

# Modelo Matemático

- Função Objetivo:
  - Minimizar o tempo de viagem do usuário:
    - Tempo de deslocamento até a estação (velocidade ônibus 22,4 km/h);
    - Tempo de parada (30 s por estação);
    - Tempo de percurso do trem (velocidade comercial 33 km/h).



## Modelo

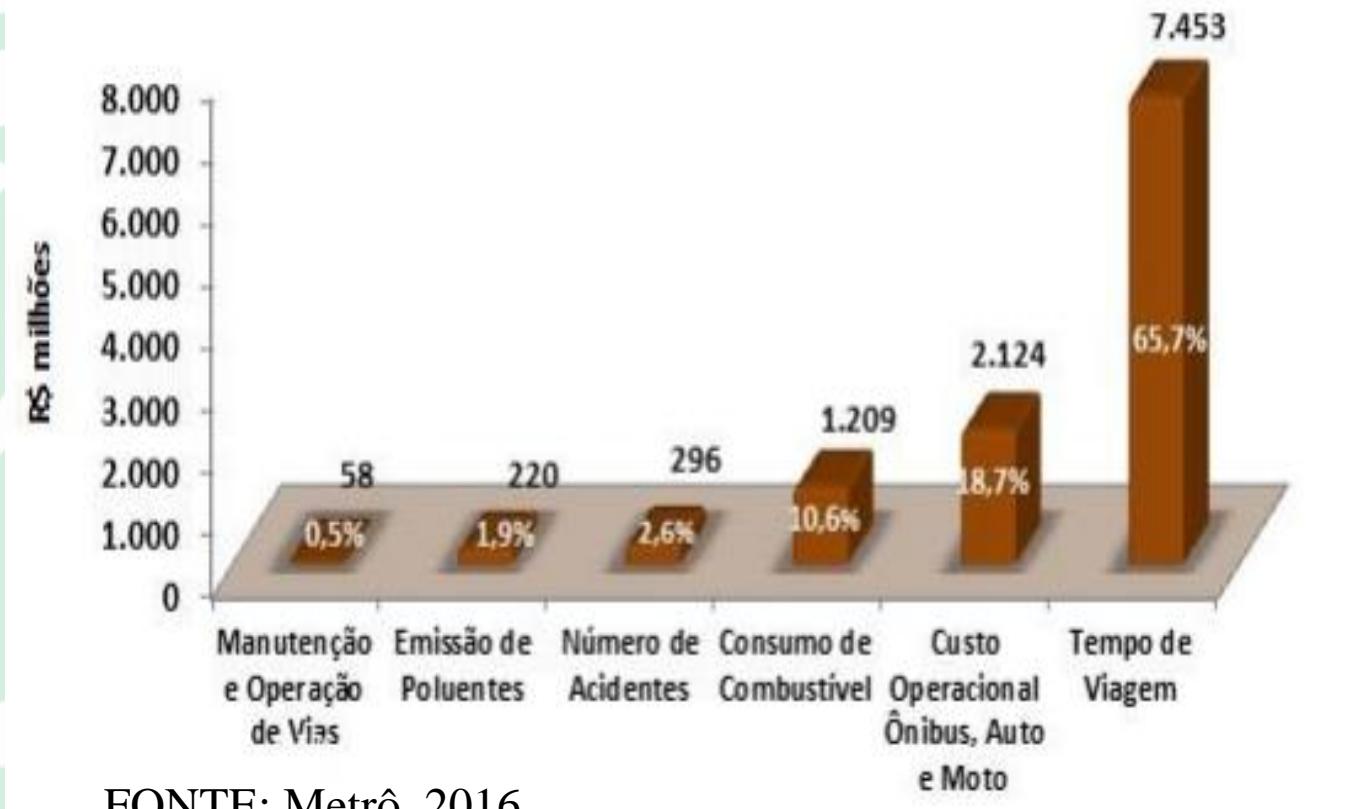
- Resultados:
    - Tempo
    - Tempo
    - Tempo
    - $T \approx 20$  r
  - Custo total:
    - =  $15 * 1000 = R\$ 7.800$



FONTE: Autores.

# Análise Socioeconômica

- Integração dos aspectos:
- Meio ambiente:
  - Licença Prévia;
  - Licença de Instalação;
  - Fiscalização da CETESB (Com)
- Benefícios Sociais;



FONTE: Metrô, 2016.

FONTE: Metrô, 2016.

# Conclusão

- Possibilidade de novos caminhos;
- Diminuição de congestionamentos, acidentes de trânsito e tempo de viagem;
- Qualidade de vida;
- Mobilidade urbana;
- Retorno a longo prazo.



A group of people, including a man and three women, are smiling and posing for a photo in a public space. They are standing in front of a green wall with a sign that reads "TRANSTO". The group is diverse in age and ethnicity. The man is on the left, and the three women are to his right. They are all wearing casual clothing. The background is slightly blurred, showing other people and a city street.

OBRIGADA!