

Introdução  
oooooooo

Teoria  
oooo

Dados  
oooooooooooo

Análise  
oooooooooooo

Conclusão  
oo

# Miopia ou controle? Análise da eficiência dos instrumentos regulatórios urbanos para determinação de densidade habitacional

Gustavo Theil

July 26, 2024

Introdução  
●○○○○○○

Teoria  
○○○○

Dados  
○○○○○○○○○○○○○○

Análise  
○○○○○○○○○○○○○○

Conclusão  
○○

## Sumário

Introdução

Teoria

Dados

Análise

Conclusão

## Por que cidades existem?

*City life constantly attracts newcomers, and the trade-mark of newcomers is bringing “new ways of looking at things, and maybe new ways of solving old problems”. Newcomers are strangers to the city, and things that the old, well settled residents stopped noticing because of their familiarity, seem bizarre and call for explanation when seen through the eye of a stranger. For strangers, and particularly for the newcomers among them, nothing in the city is ‘natural’; nothing is taken for granted by them. Newcomers are born and sworn enemies of tranquillity and self-congratulation. This is not perhaps a situation to be enjoyed by the city natives — but this is also their good luck. City is at its best, most exuberant and most lavish in offered opportunities, when its ways and means are challenged, questioned, and put on the defendants’ bench*

(BAUMAN, 2003)

## Motivação econômica (BRUECKNER, 2011)

- Aglomeração Tecnológica
  - Aumento de produtividade dos trabalhadores, na medida em que os empregos são mais concentrados e há “transbordamento” de conhecimento entre as firmas da região
  - Uma oferta maior e mais diversa de trabalho causa maior competitividade e eficiência na escolha da pessoa certa para cada cargo
- Aglomeração Pecuniária
  - Reduz os custos das firmas, sem alterar sua produtividade
  - Com maior demanda por serviços como segurança, limpeza, contratação e advocacia, estes mercados se desenvolvem, tornam-se mais competitivos, eficientes e baratos
- Aglomeração de Varejo
  - O consumidor pode escolher entre mais opções e se desloca menos entre seus destinos caso queria comprar mais de um item
  - Os comerciantes ganham também, visto que com mais consumidores e maior fluxo, maiores as vendas
- Custo de Transporte
  - A redução do custo de transporte, que pode ser considerada uma economia de aglomeração pecuniária, acontece não apenas para os trabalhadores, que se deslocam menos às oportunidades de emprego, mas também às firmas que gastam menos transportando seus bens e serviços

## Motivação econômica (BRUECKNER, 2011)

- Aglomeração Tecnológica
  - Aumento de produtividade dos trabalhadores, na medida em que os empregos são mais concentrados e há “transbordamento” de conhecimento entre as firmas da região
  - Uma oferta maior e mais diversa de trabalho causa maior competitividade e eficiência na escolha da pessoa certa para cada cargo
- Aglomeração Pecuniária
  - Reduz os custos das firmas, sem alterar sua produtividade
  - Com maior demanda por serviços como segurança, limpeza, contratação e advocacia, estes mercados se desenvolvem, tornam-se mais competitivos, eficientes e baratos
- Aglomeração de Varejo
  - O consumidor pode escolher entre mais opções e se desloca menos entre seus destinos caso queria comprar mais de um item
  - Os comerciantes ganham também, visto que com mais consumidores e maior fluxo, maiores as vendas
- Custo de Transporte
  - A redução do custo de transporte, que pode ser considerada uma economia de aglomeração pecuniária, acontece não apenas para os trabalhadores, que se deslocam menos às oportunidades de emprego, mas também às firmas que gastam menos transportando seus bens e serviços

## Motivação econômica (BRUECKNER, 2011)

- Aglomeração Tecnológica
  - Aumento de produtividade dos trabalhadores, na medida em que os empregos são mais concentrados e há “transbordamento” de conhecimento entre as firmas da região
  - Uma oferta maior e mais diversa de trabalho causa maior competitividade e eficiência na escolha da pessoa certa para cada cargo
- Aglomeração Pecuniária
  - Reduz os custos das firmas, sem alterar sua produtividade
  - Com maior demanda por serviços como segurança, limpeza, contratação e advocacia, estes mercados se desenvolvem, tornam-se mais competitivos, eficientes e baratos
- Aglomeração de Varejo
  - O consumidor pode escolher entre mais opções e se desloca menos entre seus destinos caso queria comprar mais de um item
  - Os comerciantes ganham também, visto que com mais consumidores e maior fluxo, maiores as vendas
- Custo de Transporte
  - A redução do custo de transporte, que pode ser considerada uma economia de aglomeração pecuniária, acontece não apenas para os trabalhadores, que se deslocam menos às oportunidades de emprego, mas também às firmas que gastam menos transportando seus bens e serviços

## Motivação econômica (BRUECKNER, 2011)

- Aglomeração Tecnológica
  - Aumento de produtividade dos trabalhadores, na medida em que os empregos são mais concentrados e há “transbordamento” de conhecimento entre as firmas da região
  - Uma oferta maior e mais diversa de trabalho causa maior competitividade e eficiência na escolha da pessoa certa para cada cargo
- Aglomeração Pecuniária
  - Reduz os custos das firmas, sem alterar sua produtividade
  - Com maior demanda por serviços como segurança, limpeza, contratação e advocacia, estes mercados se desenvolvem, tornam-se mais competitivos, eficientes e baratos
- Aglomeração de Varejo
  - O consumidor pode escolher entre mais opções e se desloca menos entre seus destinos caso queria comprar mais de um item
  - Os comerciantes ganham também, visto que com mais consumidores e maior fluxo, maiores as vendas
- Custo de Transporte
  - A redução do custo de transporte, que pode ser considerada uma economia de aglomeração pecuniária, acontece não apenas para os trabalhadores, que se deslocam menos às oportunidades de emprego, mas também às firmas que gastam menos transportando seus bens e serviços

## O problema do custo social

(BAUMAN, 2003)

Newcomers are born and sworn enemies of tranquillity and self-congratulation. This is not perhaps a situation to be enjoyed by the city natives — but this is also their good luck.

(COASE, 1960)

The question is commonly thought of as one in which A inflicts harm on B and what has to be decided is: how should we restrain A? But this is wrong. **We are dealing with a problem of a reciprocal nature.** To avoid the harm to B would inflict harm on A. The real question that has to be decided is: should A be allowed to harm B or should B be allowed to harm A?

## O problema do custo social

*"Cities should replace the current lengthy and uncertain permitting process with a simple system of fees. If tall heights create costs by blocking light or views, then form a reasonable estimate of those costs and charge the builder appropriately. If certain activities are noxious to neighbors, then we should estimate the social costs and charge builders for them, just as we should charge drivers for the costs of their congestion. Those taxes could then be given to the people who are suffering, such as the neighbors who lose light from a new construction project."*

(GLAESER, 2011)

- Simplificar regras, diminuir incertezas e diminuir burocracia
- Taxar atividades nocivas e utilizar o dinheiro para compensar a parte prejudicada

## O problema do custo social

*"Cities should replace the current lengthy and uncertain permitting process with a simple system of fees. If tall heights create costs by blocking light or views, then form a reasonable estimate of those costs and charge the builder appropriately. If certain activities are noxious to neighbors, then we should estimate the social costs and charge builders for them, just as we should charge drivers for the costs of their congestion. Those taxes could then be given to the people who are suffering, such as the neighbors who lose light from a new construction project."*

(GLAESER, 2011)

- Simplificar regras, diminuir incertezas e diminuir burocracia
- Taxar atividades nocivas e utilizar o dinheiro para compensar a parte prejudicada

Introdução  
oooooooo●○

Teoria  
oooo

Dados  
oooooooooooo

Análise  
oooooooooooo

Conclusão  
oo

## Regulação em São Paulo

Introdução  
oooooooo●

Teoria  
oooo

Dados  
oooooooooooo

Análise  
oooooooooooo

Conclusão  
oo

## O problema

Introdução  
oooooooo

Teoria  
●ooo

Dados  
oooooooooooo

Análise  
oooooooooooo

Conclusão  
oo

## Sumário

Introdução

Teoria

Dados

Análise

Conclusão

Introdução  
oooooooo

Teoria  
○●○○

Dados  
oooooooooooo

Análise  
oooooooooooo

Conclusão  
oo

## Construção do modelo econômico

Introdução  
oooooooo

Teoria  
○○●○

Dados  
oooooooooooo

Análise  
oooooooooooo

Conclusão  
oo

## Resultados principais

Introdução  
oooooooo

Teoria  
oooo●

Dados  
oooooooooooo

Análise  
oooooooooooo

Conclusão  
oo

## Implicações em policy

Introdução  
oooooooo

Teoria  
oooo

Dados  
●oooooooooooo

Análise  
oooooooooooo

Conclusão  
oo

## Sumário

Introdução

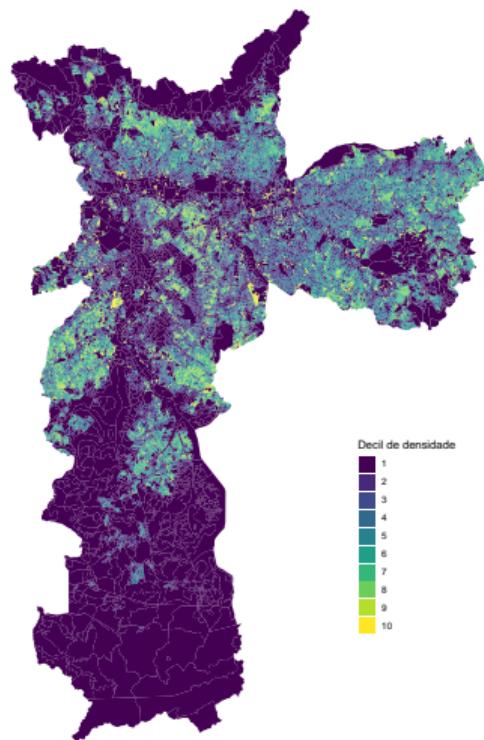
Teoria

Dados

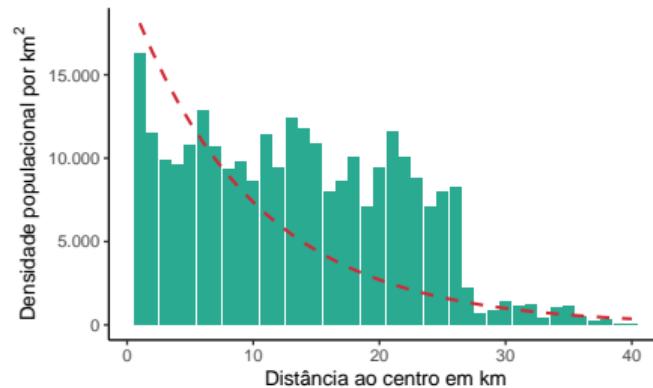
Análise

Conclusão

## Dados do Censo



- Dados preliminares do Censo de 2022
- Nível da observação: setor censitário
- 11.451.999 de habitantes e 4.996.529 de domicílios, dos quais 4.316.336 estão ocupados



## Cálculo dos indicadores

### Coeficiente de Aproveitamento

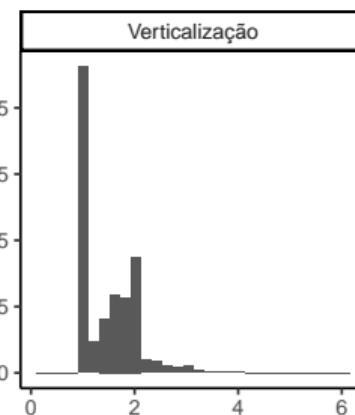
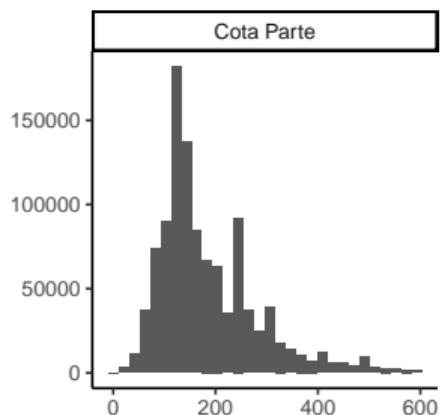
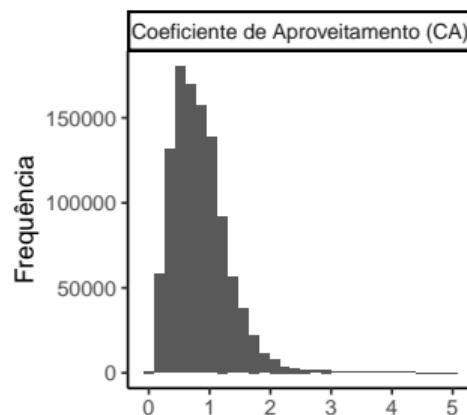
$$CA = \frac{\text{Área Construída}}{\text{Área do Terreno}}$$

### Cota Parte

$$CP = \frac{\text{Área do Terreno}}{\text{Número de Unidades}}$$

### Verticalização

Pavimentos (?)



## Verticalização

- Coeficiente de Aproveitamento

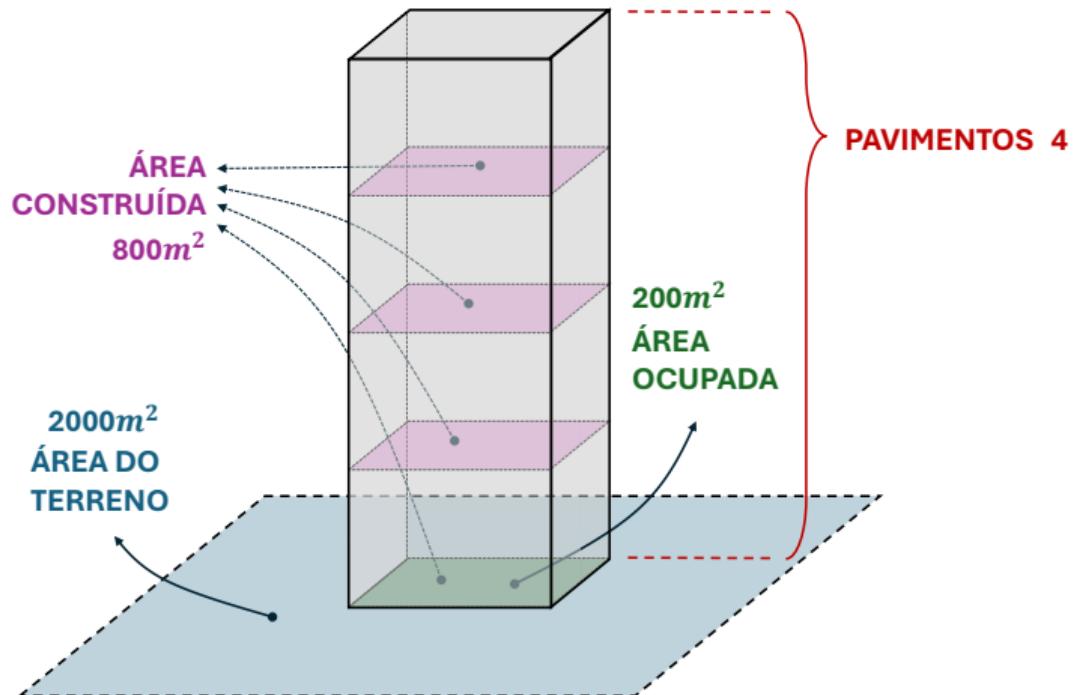
$$CA = \frac{AC}{AT} = \frac{800}{2000} = 0,4$$

- Taxa de ocupação

$$tx_{ocup} = \frac{AO}{AT} = \frac{200}{2000} = 10\%$$

- Verticalização

$$vert = \frac{CA}{tx_{ocup}} = \frac{0,4}{0,1} = 4$$



## Verticalização

$$\text{Pavimentos} = \frac{AC}{AO} = \frac{AC}{AT \cdot \frac{AO}{AT}} = \frac{AC}{AT} \div \frac{AO}{AT} = \frac{CA}{tx\_ocup}$$

- Coeficiente de Aproveitamento

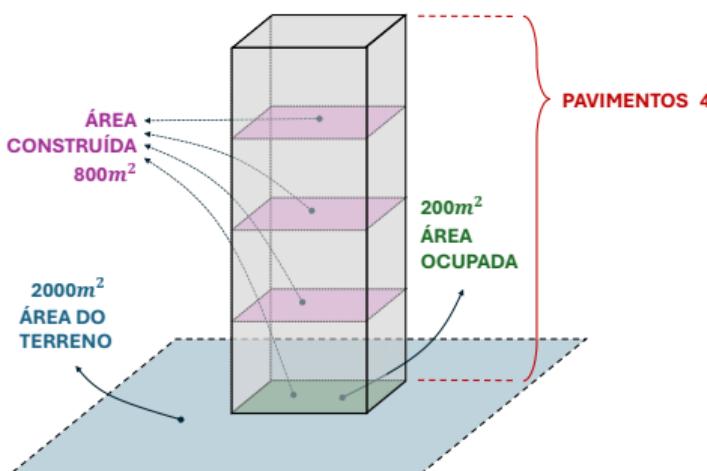
$$CA = \frac{AC}{AT} = \frac{800}{2000} = 0,4$$

- Taxa de ocupação

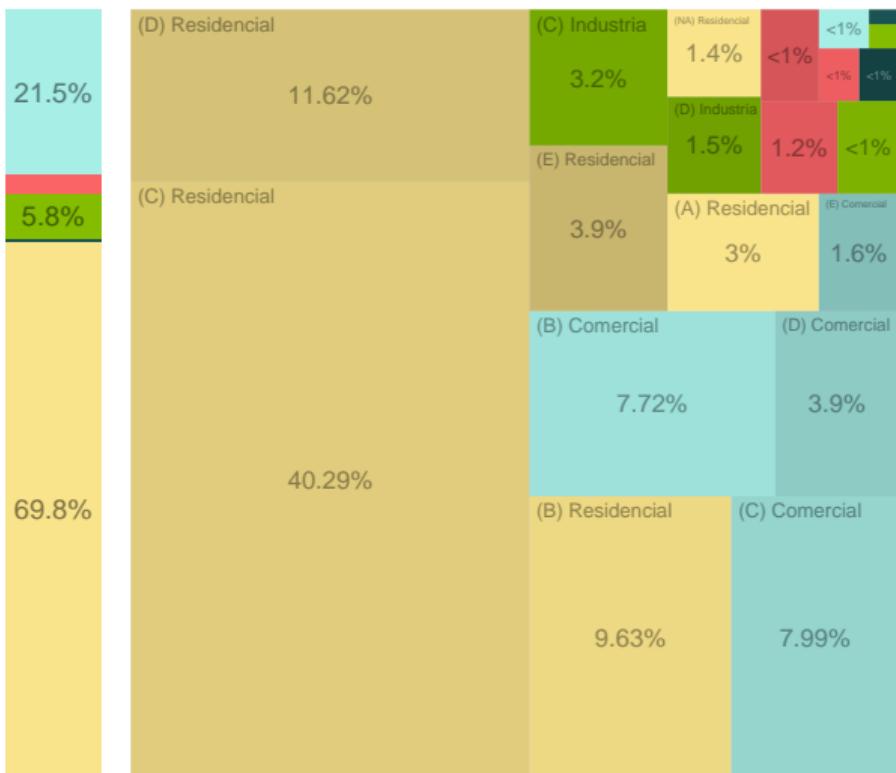
$$tx_{ocup} = \frac{AO}{AT} = \frac{200}{2000} = 10\%$$

- Verticalização

$$vert = \frac{CA}{tx_{ocup}} = \frac{0,4}{0,1} = 4$$



## Dados do IPTU



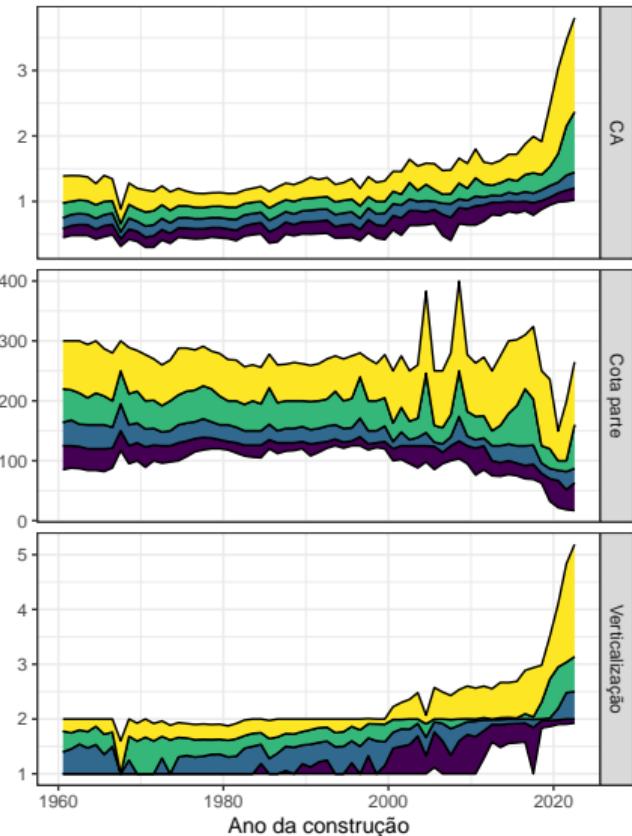
### Tipo de uso

- Comercial
- Entretenimento
- Industria
- Outros
- Residencial

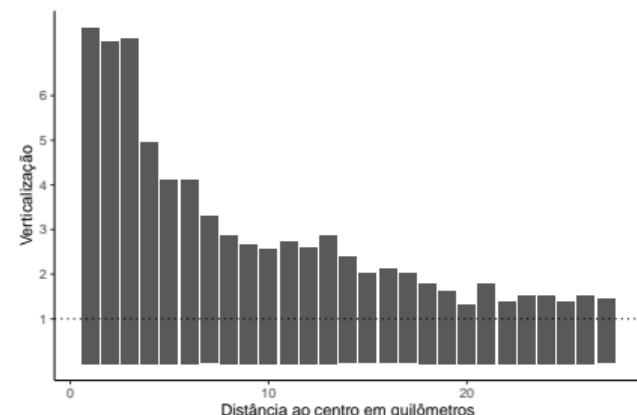
### Padrão de uso

- A
- B
- C
- D
- E
- NA

## Dados do IPTU

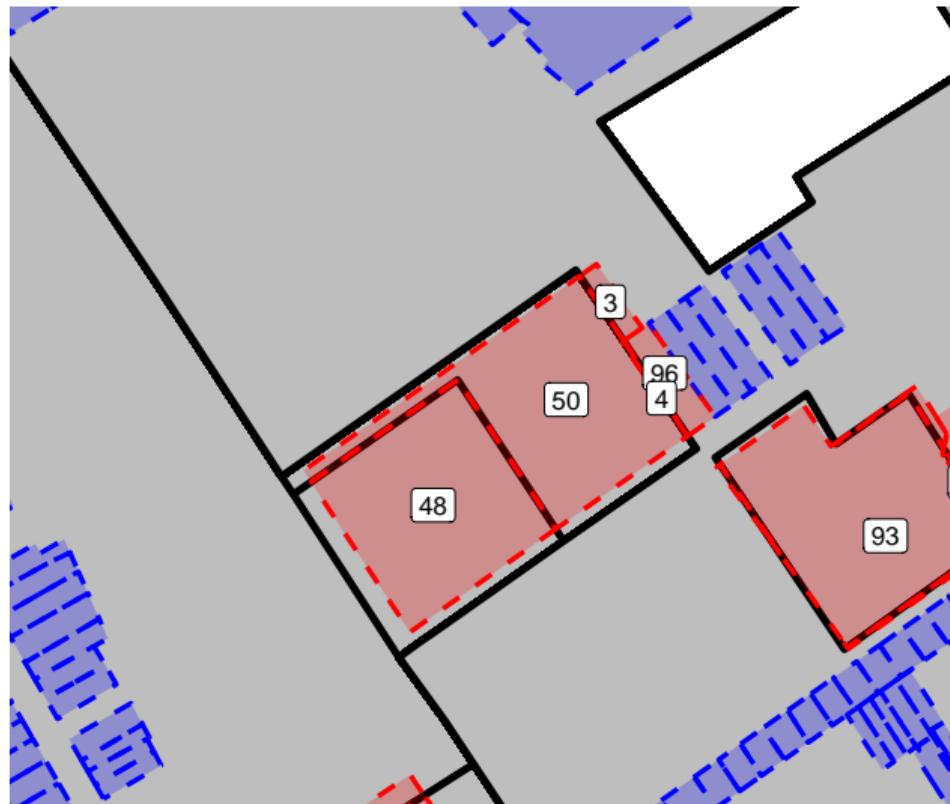


- Estoque (e não fluxo) imobiliário.
- Estão cadastrados 3.096.719 contribuintes, dos quais **2.641.635** são habitacionais



## Cruzamento dos dados

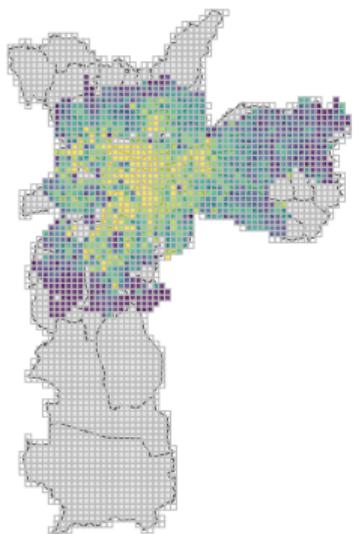
Abordagem de join geográfico



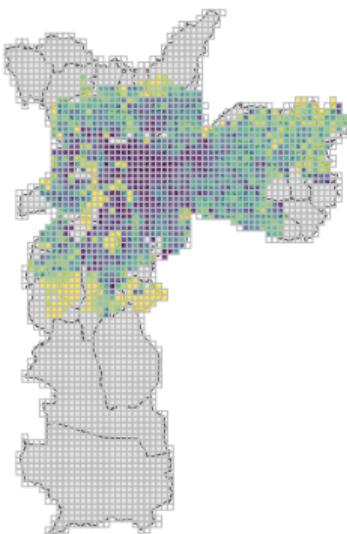
# Cruzamento dos dados

## Abordagem de raster

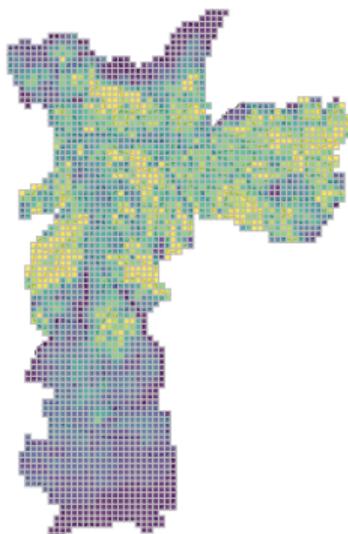
Coeficiente de Aproveitamento (CA)



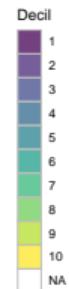
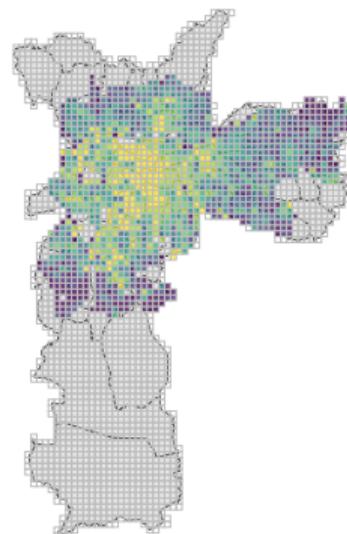
Cota-parte



Densidade populacional



Verticalização



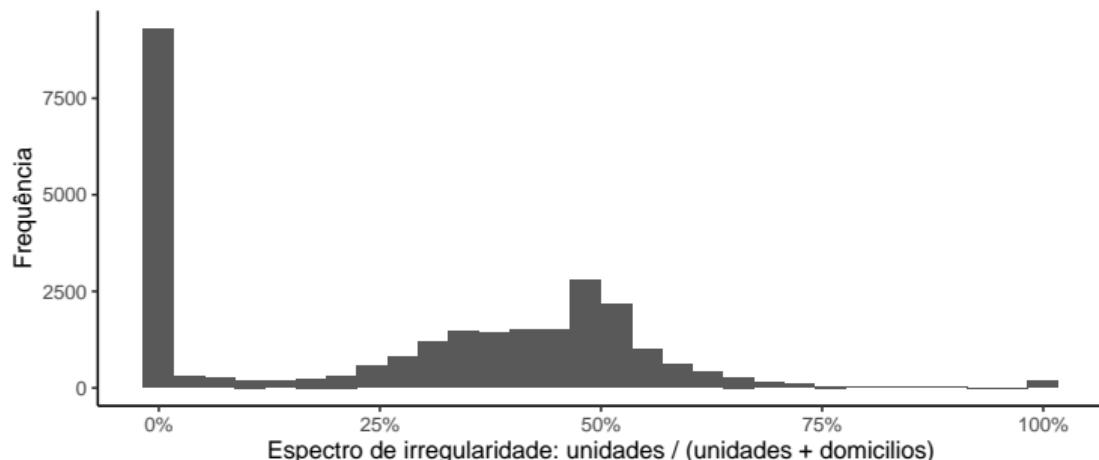
## Problemas no join

### Definição domicílio

- Separado: limitado por paredes e coberto por um teto com a finalidade de dormir, preparar, consumir seus alimentos e proteger-se do meio ambiente
- Independente: entrada e saída sem passar por locais de moradias de outras pessoas

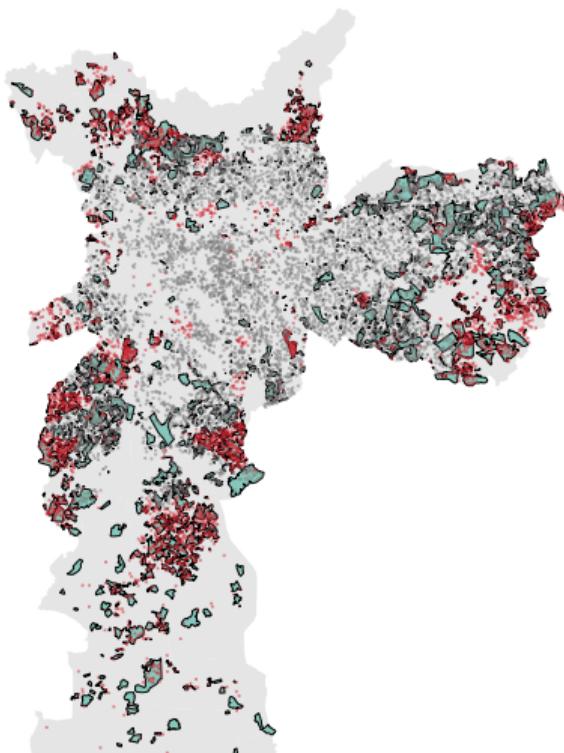
### Definição de unidade

"A cada imóvel urbano corresponderá um número de inscrição no Cadastro Imobiliário Fiscal, entendendo-se como imóvel: I - a área de terreno, construído ou não, definida em matrícula do competente Serviço de Registro de Imóveis ou em transcrições ainda vigente"

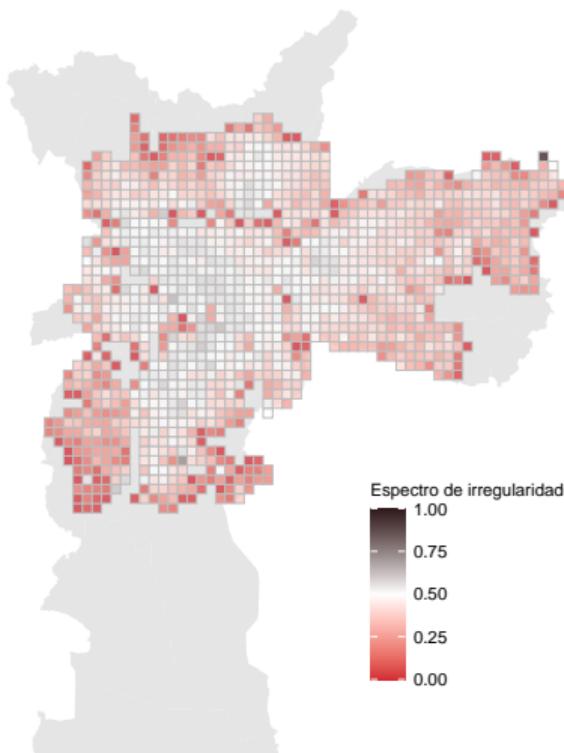


## Problemas no join

População em áreas sem registro de IPTU geralmente estão em favelas ou lotes irregulares (cada ponto representa 1000 pessoas)



Áreas com menos domicílios registrados no IPTU, comparados ao censo geralmente estão em regiões afastadas do centro



## Áreas mais densas de São Paulo

Table: Células do *raster* que apresentam a maior densidade populacional

| Variável                | Favelas         |               |                 |               |                    |
|-------------------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|--------------------|
|                         | 1. Paraisópolis | 2. Heliópolis | 4. Paraisópolis | 5. Heliópolis | 3. Sé (Bela Vista) |
| População               | 29.598          | 25.280        | 23.824          | 22.920        | 24.576             |
| Domicílios (Censo)      | 11.655          | 10.178        | 9.361           | 9.001         | 17.875             |
| Unidades (IPTU)         | 0               | 1.857         | 7               | 3             | 21.057             |
| Espectro irregularidade | 0.00%           | 15.43%        | 0.08%           | 0.03%         | 54.09%             |
| Densidade habitacional  | 46.247          | 39.500        | 37.225          | 35.813        | 38.400             |
| Área                    | 640.000         | 640.000       | 640.000         | 640.000       | 640.000            |

Densidade média em São Paulo: 7.529 *hab/km<sup>2</sup>*

Introdução  
oooooooo

Teoria  
oooo

Dados  
oooooooooooo

Análise  
●oooooooooooo

Conclusão  
oo

## Sumário

Introdução

Teoria

Dados

Análise

Conclusão

## Construção do modelo empírico

$$densidade_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot CA_i + \beta_2 \cdot cota\ parte_i + \beta_3 \cdot verticalização_i + \varepsilon_i$$

## Nível da observação - Problema do setor censitário

| Estrutura territorial                         | Quantitativo de domicílios ou indivíduos |                |
|---|--|----------------|
|   | Mínimo                                   | Máximo         |
| Área urbana de alta densidade de edificações  | 250 domicílios                           | 400 domicílios |
| Área urbana de baixa densidade de edificações | 150 domicílios                           | 250 domicílios |
| Núcleo Urbano                                 | 51 domicílios                            | 200 domicílios |
| Aglomerado Rural                              | 51 domicílios                            | 200 domicílios |

### Fatores levados em consideração

- Elementos na paisagem que se constituam em barreiras naturais ou artificiais, e, assim, dificultam o percurso do setor, levando ao aumento do tempo de coleta
- Pontos de referência estáveis e de fácil identificação
- Limites de estruturas territoriais (bairros, quadras, etc.)

## Resultados

Table: Regressão para densidade populacional

|                | Todos os setores |     |             |     | Espectro irregularidade: 40 a 60% |     |             |     |
|----------------|------------------|-----|-------------|-----|-----------------------------------|-----|-------------|-----|
|                | Nível (A)        |     | Log (B)     |     | Nível (C)                         |     | Log (D)     |     |
|                | Coeficiente      | *   | Coeficiente | *   | Coeficiente                       | *   | Coeficiente | *   |
| (Intercept)    | 11046.375        | *** | 8.987       | *** | 8632.310                          | *** | 9.109       | *** |
| cota_parte     | -0.004           |     | 0.000       | *** | -6.973                            | *** | -0.002      | *** |
| verticalizacao | -249.059         |     | -0.075      | **  | -48.242                           |     | -0.026      |     |
| CA             | 1211.554         | *** | 0.243       | *** | 1672.931                          | *** | 0.143       | *** |
| R2             | 0.022            |     | 0.052       |     | 0.249                             |     | 0.328       |     |
| R2 ajustado    | 0.020            |     | 0.050       |     | 0.245                             |     | 0.325       |     |
| Observações    | 1255             |     | 1254        |     | 553                               |     | 553         |     |

## Problemas do modelo: Violação das suposições de Gauss-Markov

### 1. Forma funcional

$$\begin{aligned} \text{densidade}_i &= \beta_0 + \beta_1(CA_i) & +\beta_2(\text{cota parte}_i) + \beta_3(\text{verticalização}_i) & +\varepsilon_i \\ \frac{\text{População}_i}{A. \text{ Total}_i} &= \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{\text{A. Construída}_i}{\text{A. do Terreno}_i} \right) & +\beta_2 \left( \frac{\text{A. Terreno}_i}{N. \text{ unidades}_i} \right) + \beta_3 \left( \frac{\text{A. Construída}_i}{\text{A. Ocupada}_i} \right) & +\varepsilon_i \end{aligned}$$

### 2. Omissão de regressores relevantes

- $H_0$  : Indicadores **são** eficientes para definir a densidade
- $H_A$  : Indicadores **não são** eficientes para definir a densidade

## Problemas do modelo: Violação das suposições de Gauss-Markov

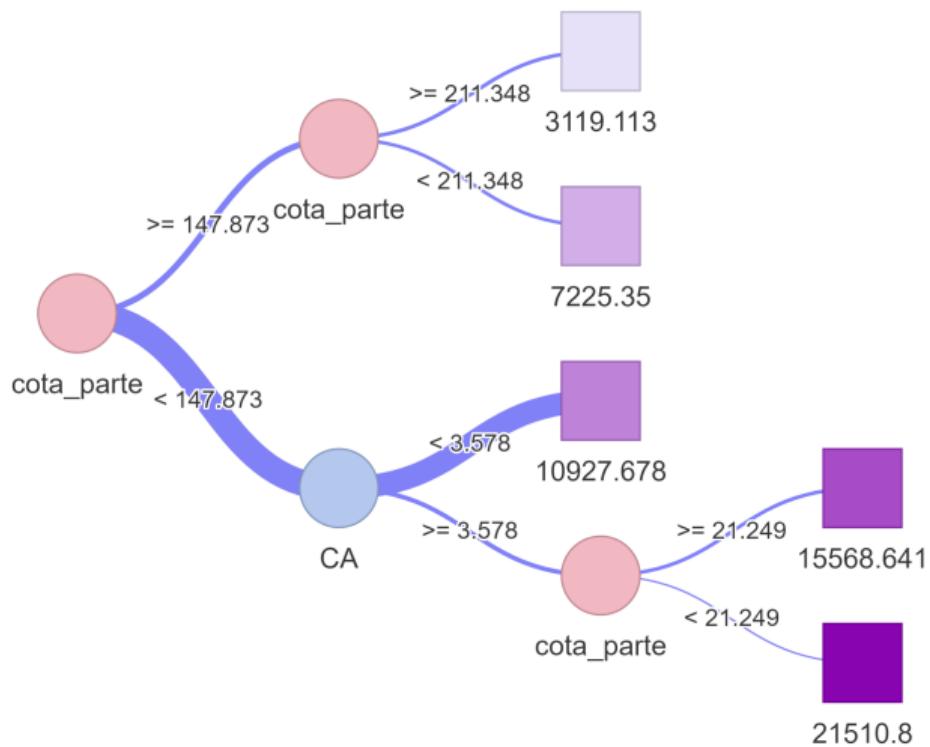
### 1. Forma funcional

$$\begin{aligned} \text{densidade}_i &= \beta_0 + \beta_1(CA_i) & +\beta_2(\text{cota parte}_i) + \beta_3(\text{verticalização}_i) & +\varepsilon_i \\ \frac{\text{População}_i}{A. \text{ Total}_i} &= \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{\text{A. Construída}_i}{\text{A. do Terreno}_i} \right) & +\beta_2 \left( \frac{\text{A. Terreno}_i}{N. \text{ unidades}_i} \right) + \beta_3 \left( \frac{\text{A. Construída}_i}{\text{A. Ocupada}_i} \right) & +\varepsilon_i \end{aligned}$$

### 2. Omissão de regressores relevantes

- $H_0$  : Indicadores **são** eficientes para definir a densidade
- $H_A$  : Indicadores **não são** eficientes para definir a densidade

## Construção da *random forest*



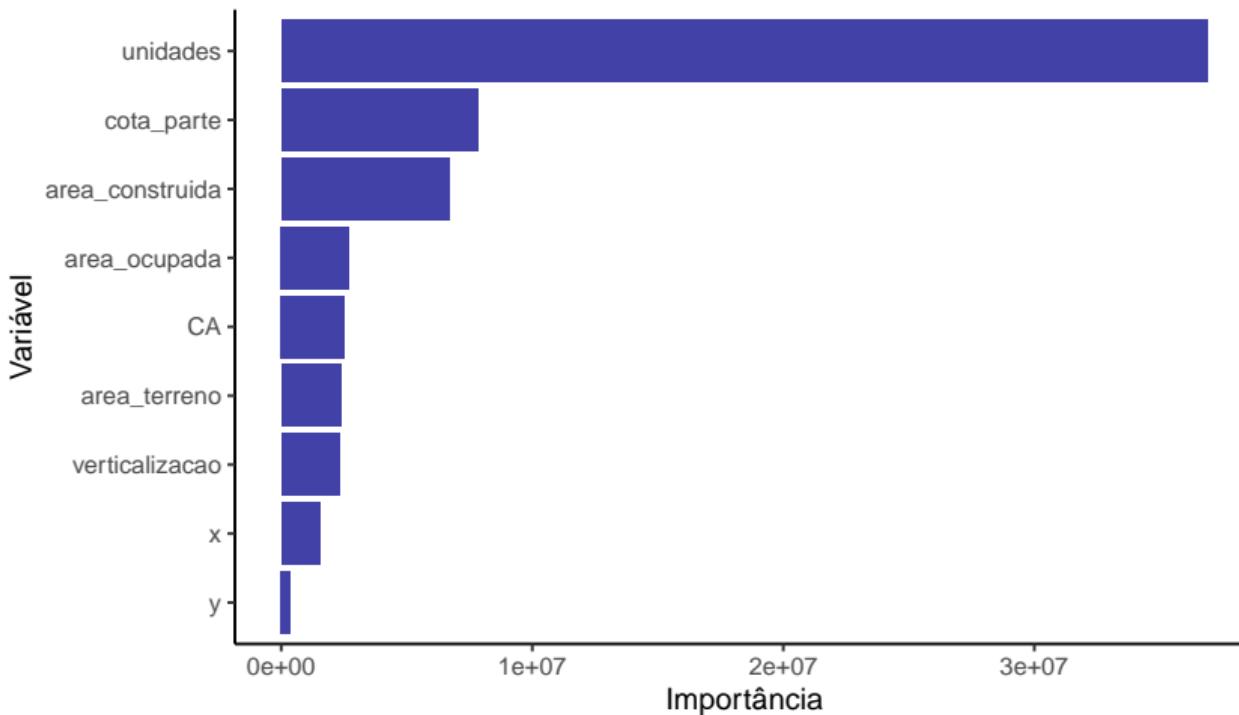
## Comparação entre os modelos

| Modelo               | Variáveis    | $R^2$ na base de teste |
|----------------------|--------------|------------------------|
| Regressão Linear     | (restrita)   | 0,239                  |
| <i>Random Forest</i> | (restrita)   | 0,288                  |
| <i>Random Forest</i> | (irrestrita) | 0,848                  |

Modelo na versão irrestrita adiciona as variáveis:

- Número total de unidades
- Latitude e longitude do raster
- Áreas de terreno, construída e ocupada

## Importância das variáveis do modelo



## Retomando...

$$\frac{População_i}{\textbf{A. Total}_i} = \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{A. Construída_i}{A. do Terreno_i} \right) + \beta_2 \left( \frac{A. Terreno_i}{N. unidades_i} \right) + \beta_3 \left( \frac{A. Construída_i}{A. Ocupada_i} \right) + \varepsilon_i$$

Área total = Área de Terreno + Área não residencial

## Comparação entre os modelos

**Table:** Resultados utilizando área total para calcular a densidade

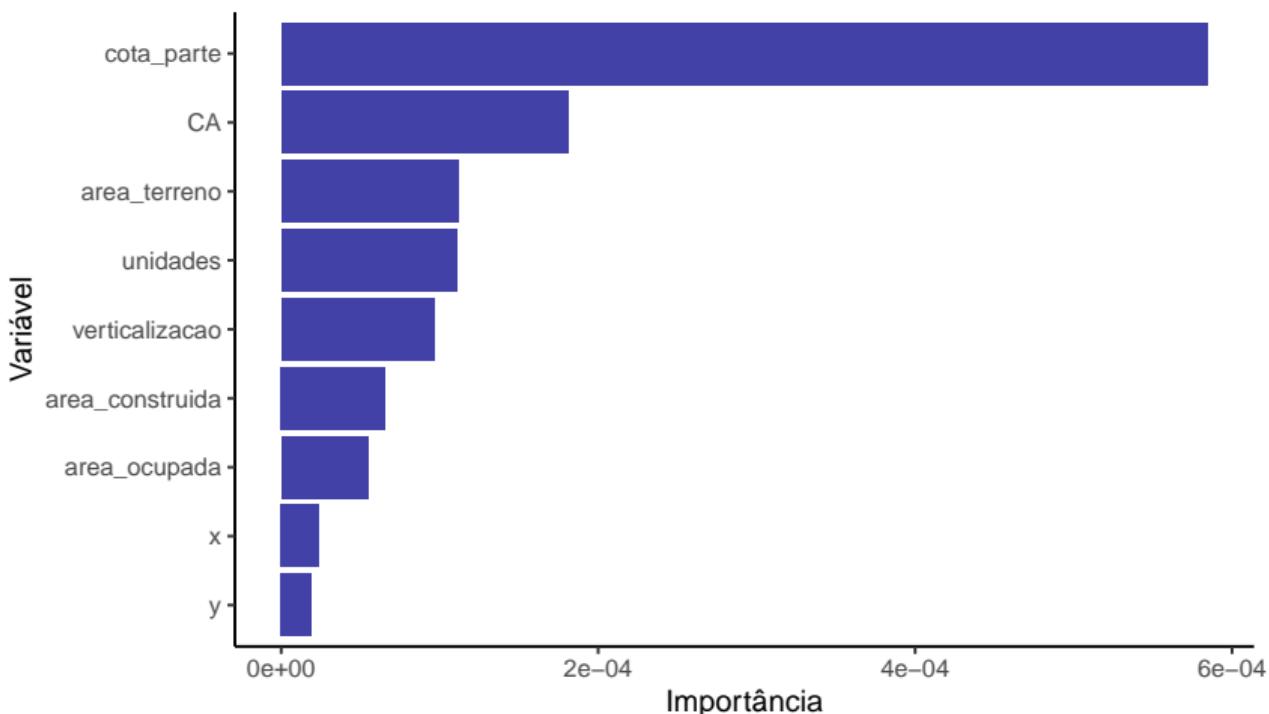
| Modelo               | Variáveis    | $R^2$ na base de teste |
|----------------------|--------------|------------------------|
| Regressão Linear     | (restrita)   | 0,239                  |
| <i>Random Forest</i> | (restrita)   | 0,288                  |
| <i>Random Forest</i> | (irrestrita) | 0,848                  |

**Table:** Resultados utilizando área do terreno para calcular a densidade

| Modelo               | Variáveis    | $R^2$ na base de teste |
|----------------------|--------------|------------------------|
| Regressão Linear     | (restrita)   | 0,436                  |
| <i>Random Forest</i> | (restrita)   | 0,727                  |
| <i>Random Forest</i> | (irrestrita) | 0,796                  |

# Importância das variáveis do modelo

Cálculo da densidade através da área de terreno



Introdução  
oooooooo

Teoria  
oooo

Dados  
oooooooooooo

Análise  
oooooooooooo

Conclusão  
●○

## Sumário

Introdução

Teoria

Dados

Análise

Conclusão

Introdução  
oooooooo

Teoria  
oooo

Dados  
oooooooooooo

Análise  
oooooooooooo

Conclusão  
oo●

## Resultados