

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

Gustavo Theil

July 31, 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

## Regulação em São Paulo

Os mecanismos de regulação são principalmente definidos pelo atual Plano Diretor Estratégico (SÃO PAULO, 2014, PDE)

- Entre os 17 objetivos estabelecidos, ao menos nove estão relacionados a estratégias de adensamento urbano (LIMA, 2021)
- Dispositivos para imóveis já existentes e para novos empreendimentos
- Principais instrumentos: CA, cota-parte e gabarito
- Regulação incentiva adensamento em áreas mais desejáveis (no entorno de serviços públicos, trabalho, transporte público de alta capacidade, etc.)

## O problema

Estes instrumentos de regulação são capazes de determinar a densidade populacional?

Introdução  
oooooooo

Teoria  
●○○

Dados  
oooooooooooo

Análise  
oooooooooooo

Conclusão  
oo

## Sumário

Introdução

Teoria

Dados

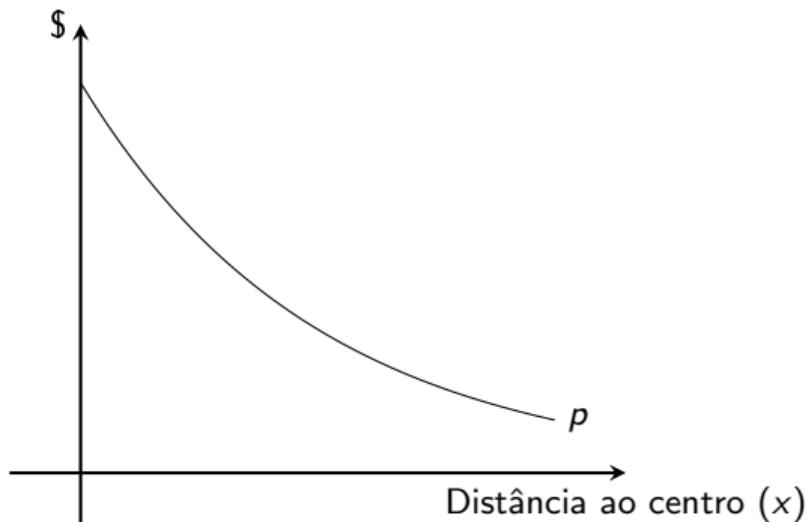
Análise

Conclusão

## Construção do modelo econômico

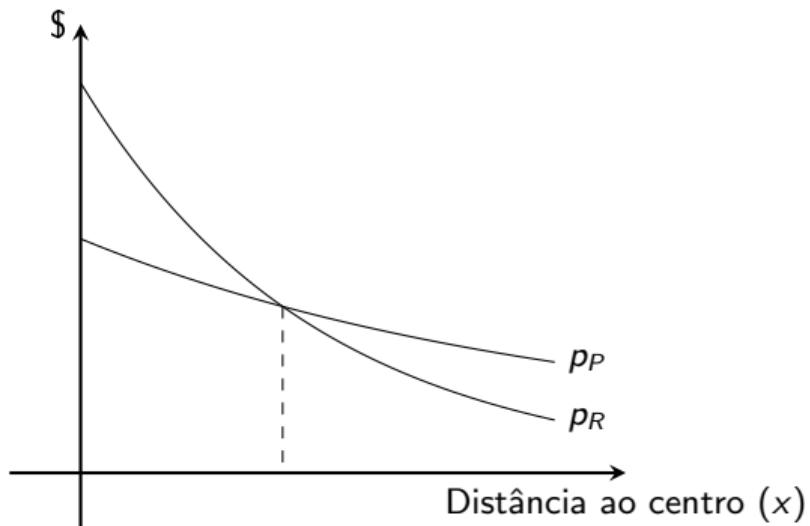
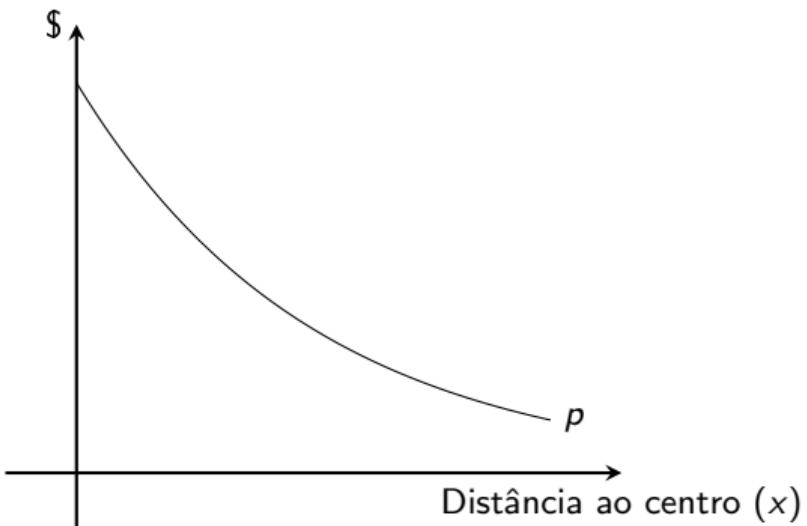
(PAPAGEORGIOU; PINES, 2012; FUJITA, 1989; BRUECKNER, 2011)

- Pessoas querem moradias e consumir bens
  - Quanto mais perto do trabalho moram, menos é gasto com transporte
  - Com mais demanda pelas regiões centrais, mais caro fica o  $m^2$
- Imobiliárias querem maximizar seus lucros
  - Prefere construir onde há um  $m^2$  mais caro
  - Vale a pena construir mais pavimentos onde o custo marginal de verticalizar é igual ao custo marginal da terra
- Resultado: A densidade aumenta na medida em que a distância ao centro diminui



## Introdução de novos componentes

(PAPAGEORGIOU; PINES, 2012; FUJITA, 1989; BRUECKNER, 2011)



Introdução  
oooooooo

Teoria  
ooo

Dados  
●oooooooooooo

Análise  
oooooooooooo

Conclusão  
oo

## Sumário

Introdução

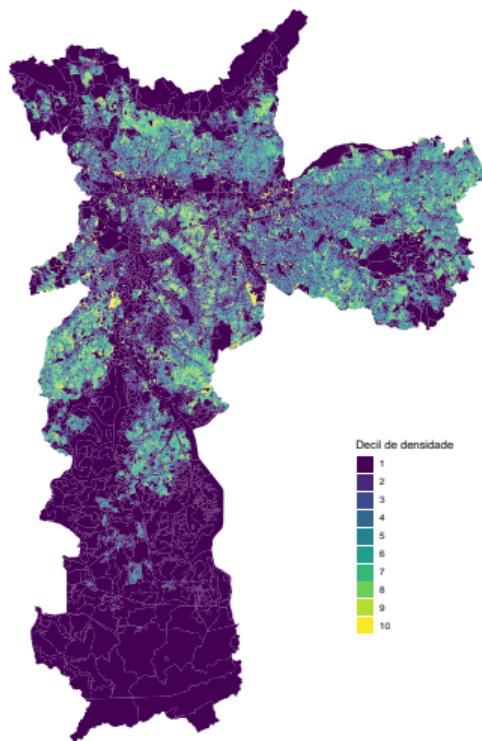
Teoria

Dados

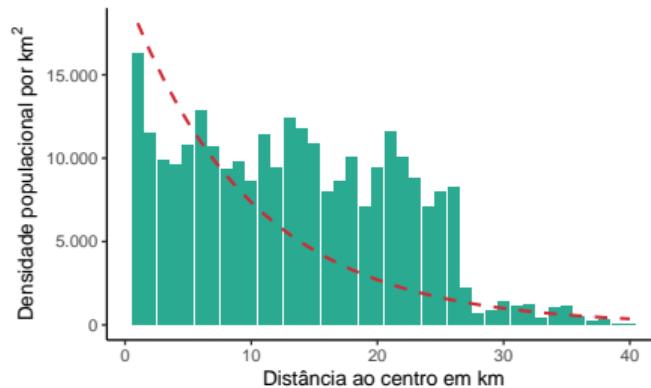
Análise

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

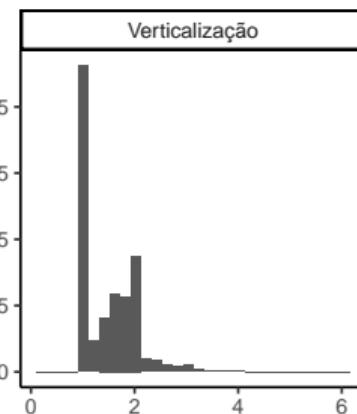
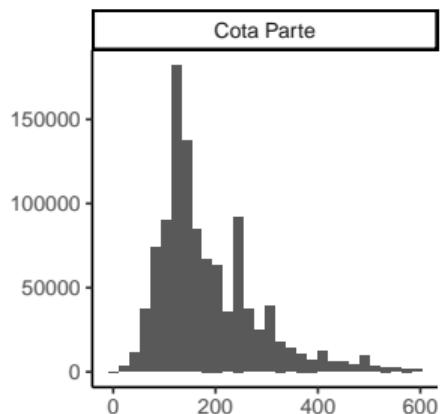
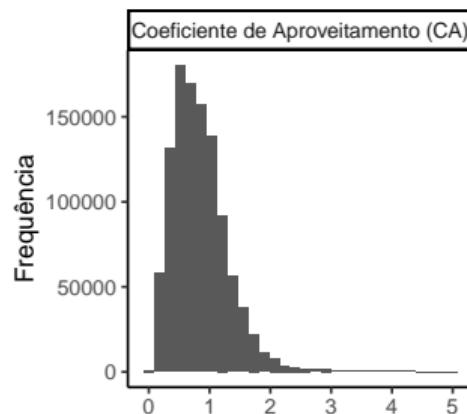
$$CA = \frac{\text{Área Construída}}{\text{Área do Terreno}}$$

### Cota Parte

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

### Verticalização

Pavimentos (?)



## Verticalização

- Coeficiente de Aproveitamento

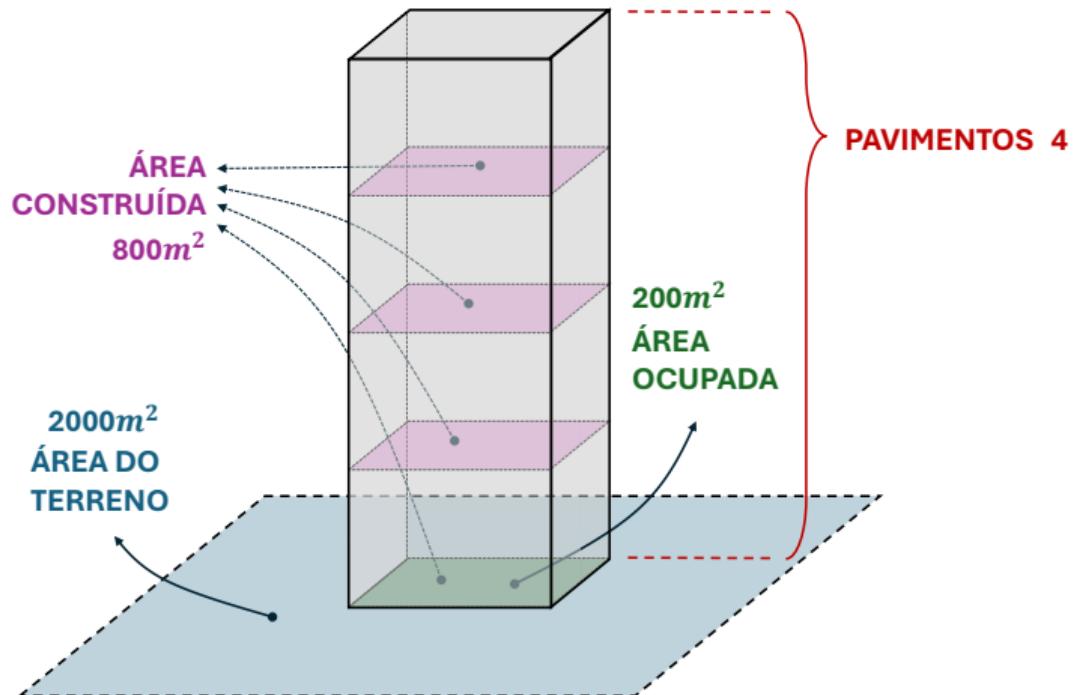
$$CA = \frac{AC}{AT} = \frac{800}{2000} = 0,4$$

- 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

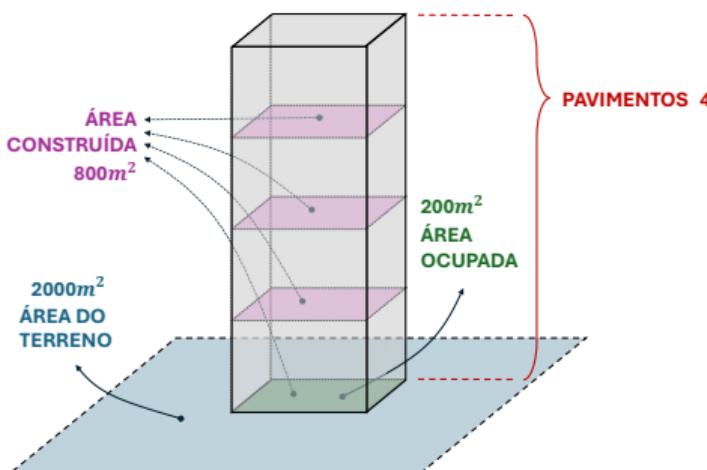
$$CA = \frac{AC}{AT} = \frac{800}{2000} = 0,4$$

- Taxa de ocupação

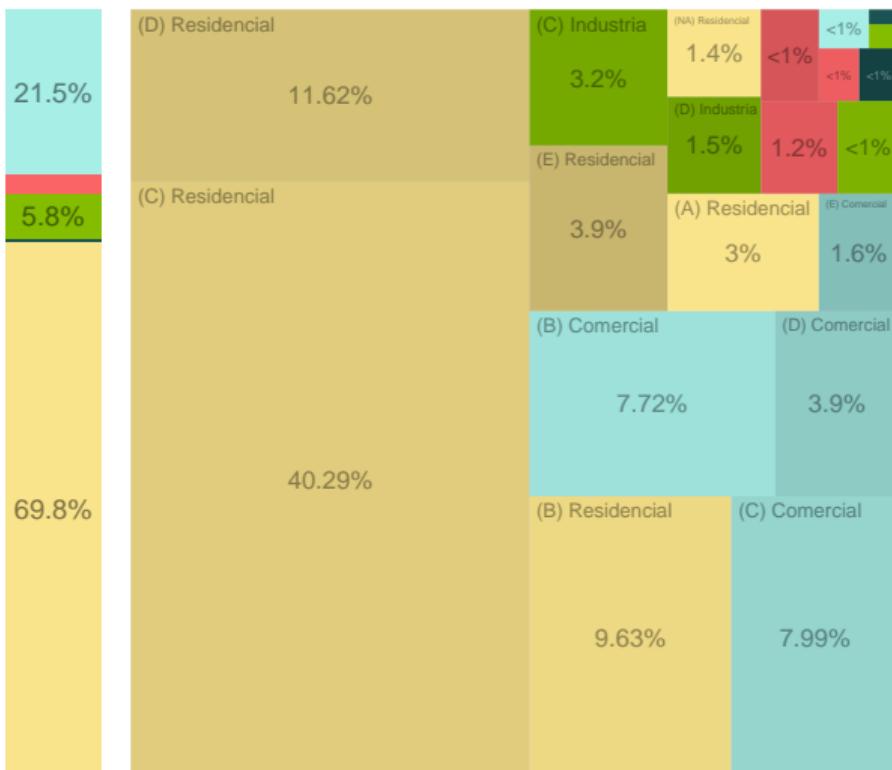
$$tx_{ocup} = \frac{AO}{AT} = \frac{200}{2000} = 10\%$$

- Verticalização

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



# Área construída em São Paulo



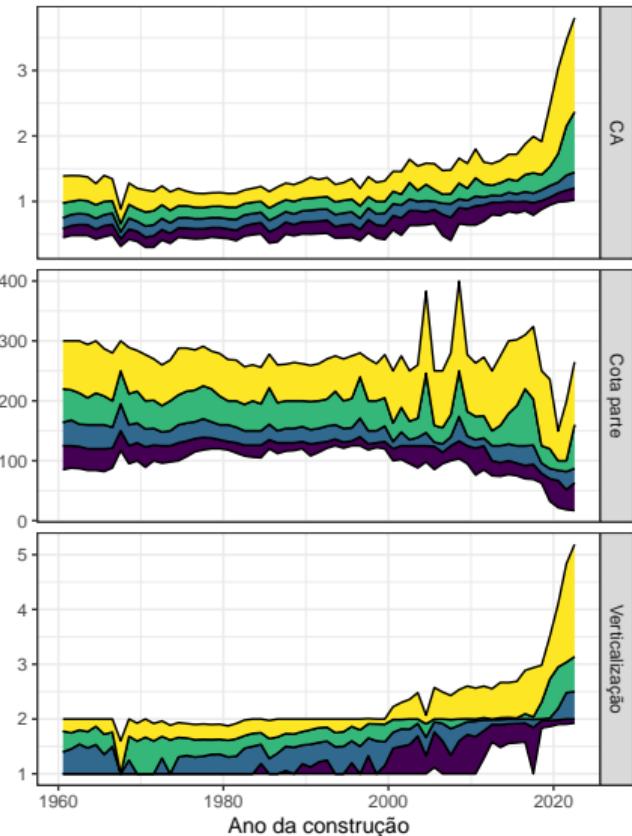
## Tipo de uso

- Comercial
- Entretenimento
- Industria
- Outros
- Residencial

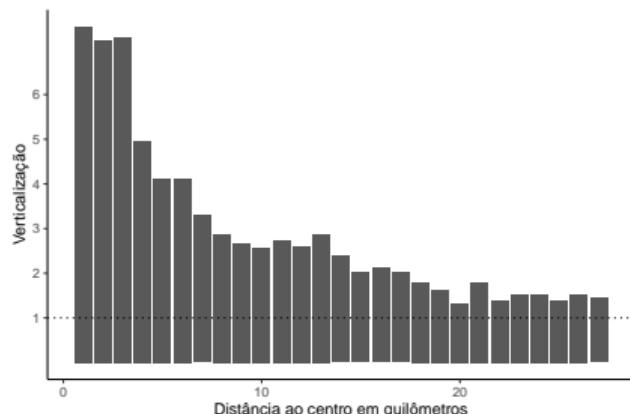
## Padrão de uso

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

## Dados do IPTU

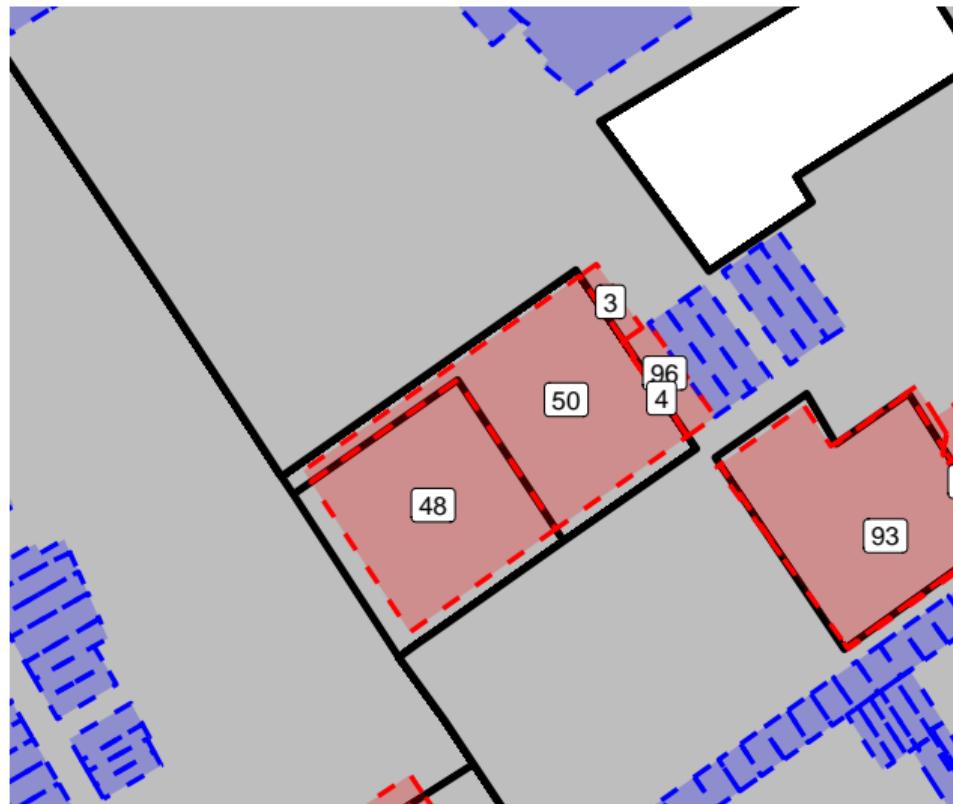


- Estoque (e não fluxo) imobiliário.
- Estão cadastrados 3.096.719 contribuintes, dos quais **2.641.635** são habitacionais



## Cruzamento dos dados

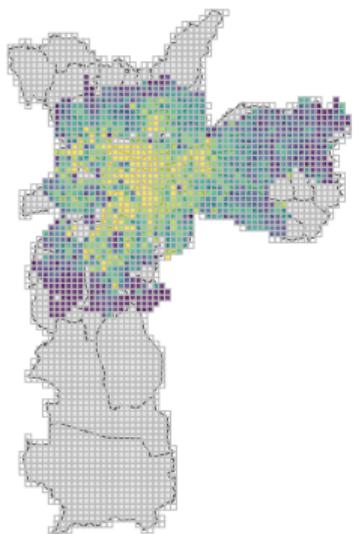
Abordagem de join geográfico



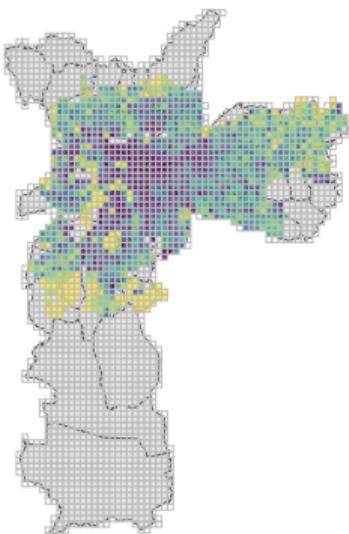
# Cruzamento dos dados

## Abordagem de raster

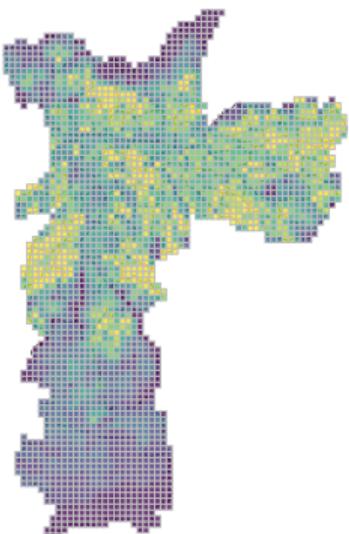
Coeficiente de Aproveitamento (CA)



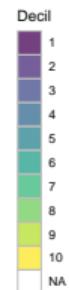
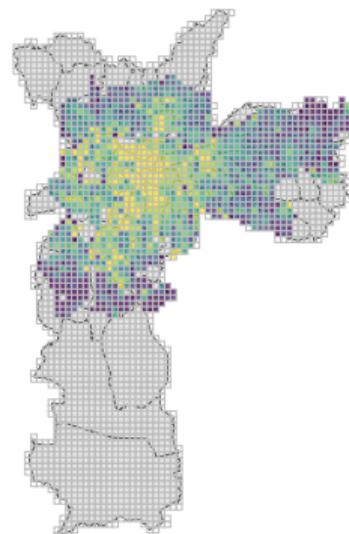
Cota-parte



Densidade populacional



Verticalização



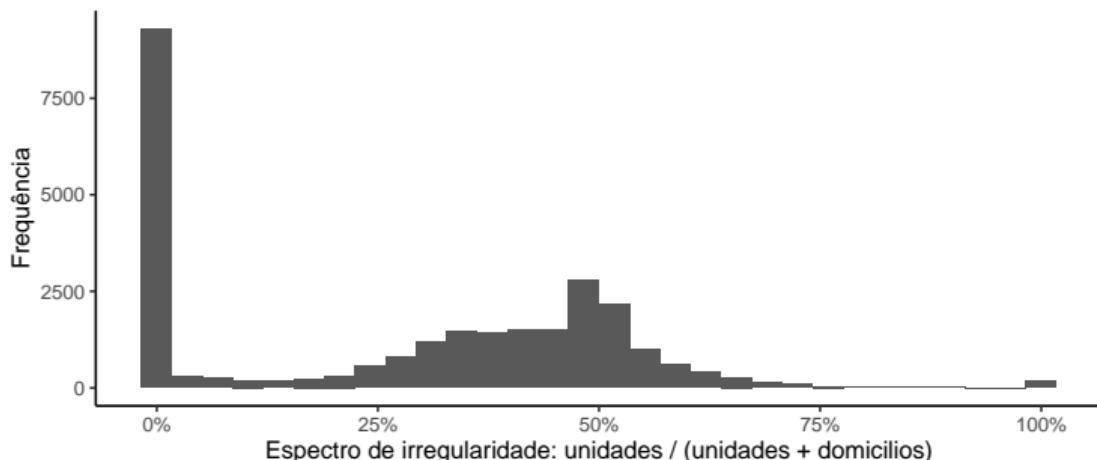
## Problemas no join

### 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

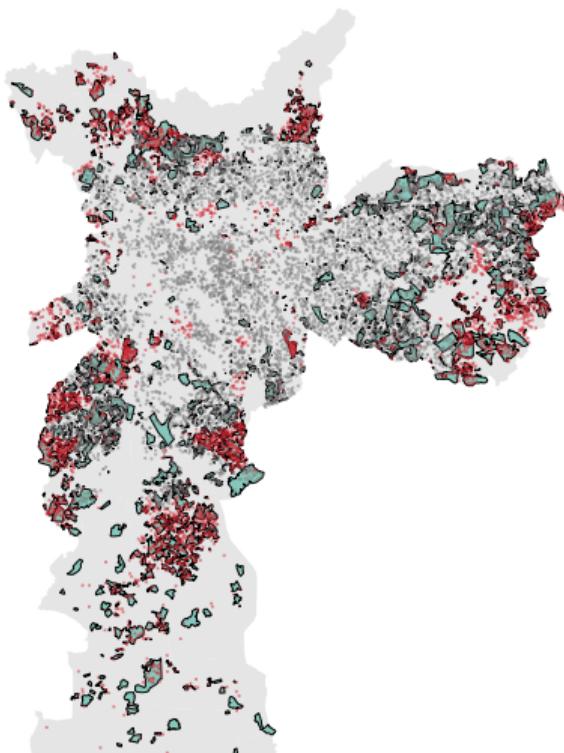
### Definição de unidade

"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"

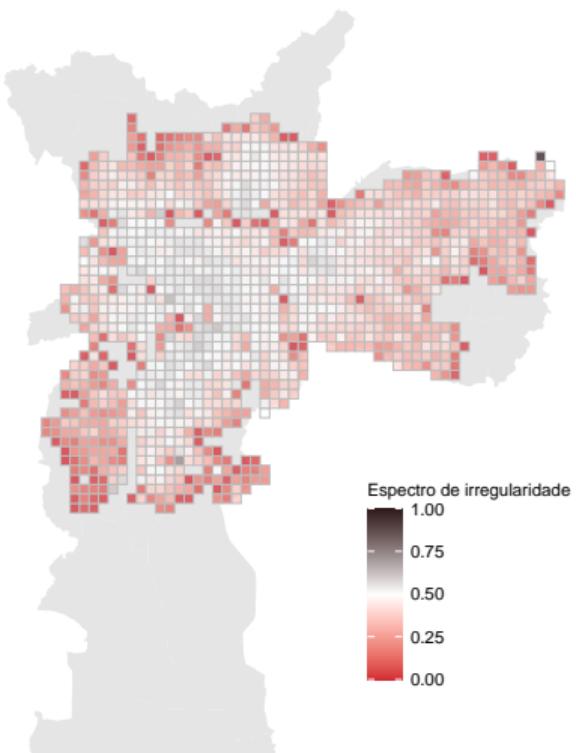


## Problemas no join

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  
ooo

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

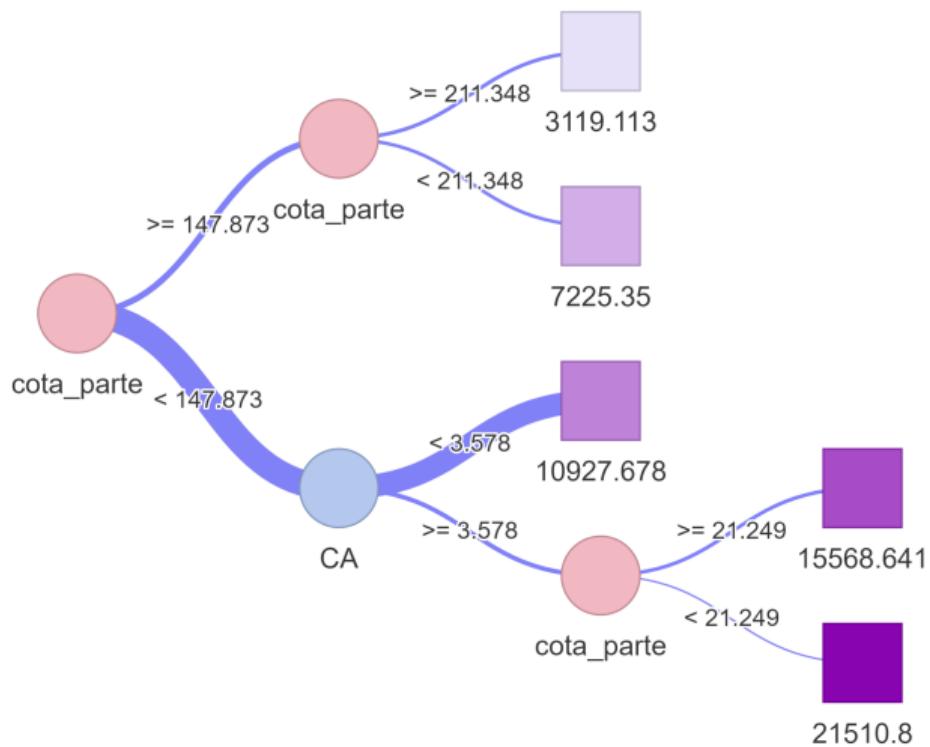
### 1. Forma funcional

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

### 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*



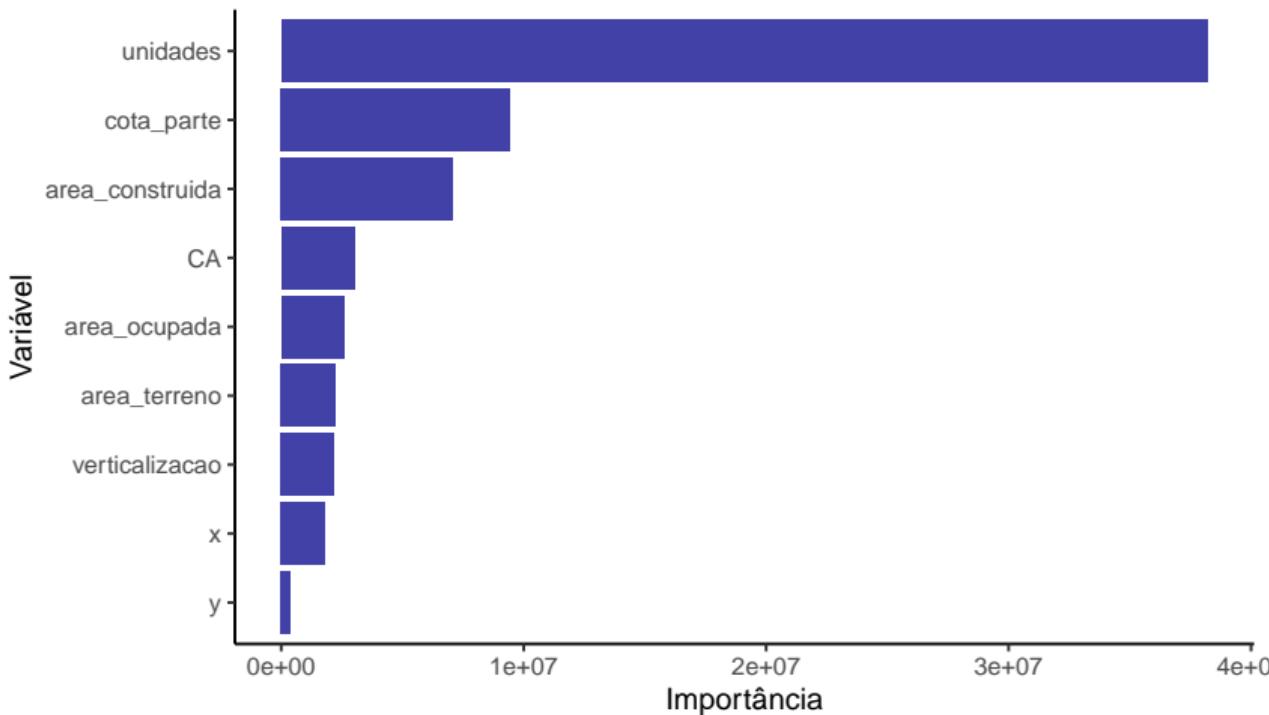
## Comparação entre os modelos

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

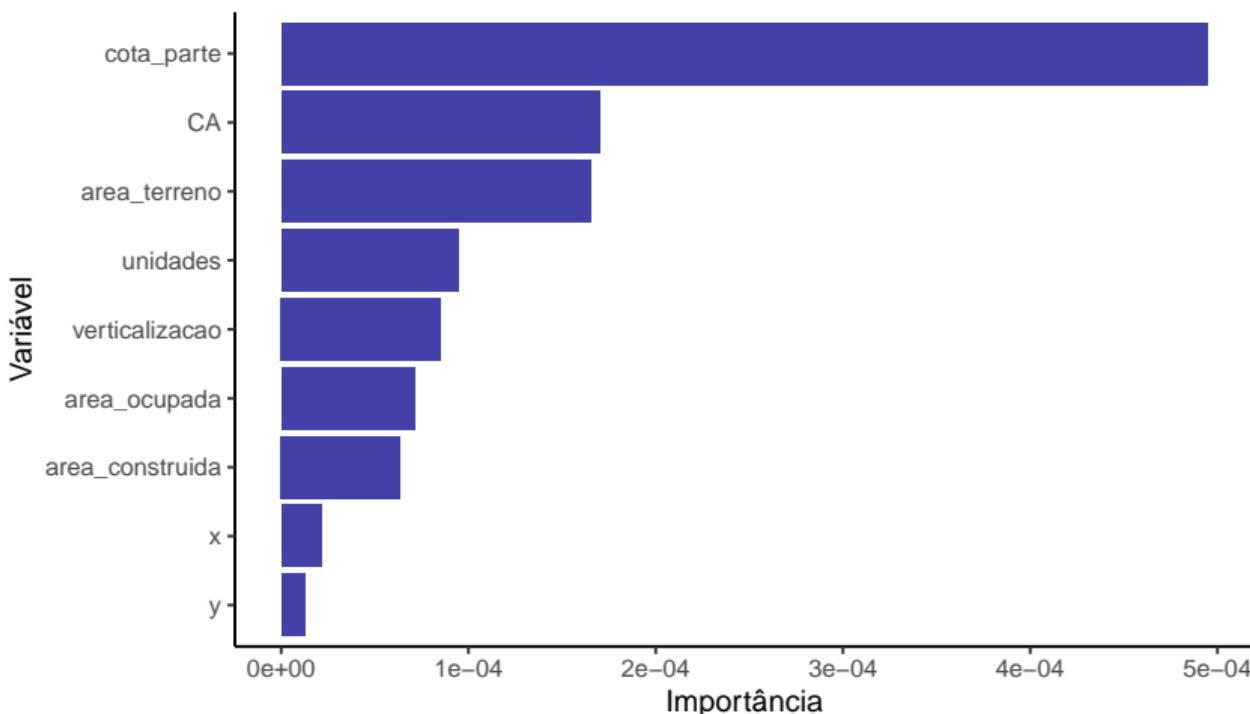
Modelo	Variáveis	$R^2$ na base de teste
Regressão Linear	(restrita)	0,239
<i>Random Forest</i>	(restrita)	0,288
<i>Random Forest</i>	(irrestrita)	0,848

**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  
ooo

Dados  
oooooooooooo

Análise  
oooooooooooo

Conclusão  
●○

## Sumário

Introdução

Teoria

Dados

Análise

Conclusão

## Conclusão

- Eficiência dos instrumentos
  - Cota parte > CA > pavimentos = 0
- Fatores adicionais
  - Proximidade ao emprego é um fator importante não considerado
  - Necessidade de investigar outros fatores em futuras pesquisas
- Moradia informal
  - 53% dos domicílios não inscritos no Cadastro Imobiliário Fiscal
  - Instrumentos impactam no máximo metade da cidade
- Adensamento informal
  - Regiões informais mostram maior adensamento
  - Exemplo: favela de Paraisópolis, região mais densa da cidade