

Impacto de Estações Meteorológicas na Produtividade Agrícola: Uma Aplicação de Diferenças em Diferenças com Tratamento Escalonado

Daniel Cavalli
Orientador: Prof. Romero Rocha

Instituto de Economia
Universidade Federal do Rio de Janeiro

2025

Roteiro

- ① Motivação e Problema de Pesquisa
- ② Estratégia Empírica
- ③ Metodologia: Callaway e Sant'Anna (2021)
- ④ Resultados
- ⑤ Testes de Robustez
- ⑥ Implicações Econômicas e de Política
- ⑦ Conclusões

Desafio da Agricultura:

- Crescente variabilidade climática
- Necessidade de aumento de produtividade
- Informação como insumo produtivo

Lacuna na Literatura:

- Estudos predominantemente descritivos
- Ausência de evidências causais
- Falta quantificação econômica rigorosa

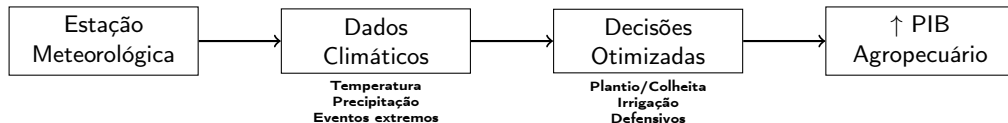
Oportunidade

Instalação escalonada de estações meteorológicas (2000-2019) cria experimento natural

Questão Central

Qual o impacto causal da instalação de estações meteorológicas sobre o PIB agropecuário?

Mecanismo Causal



Literatura identifica três dimensões (Mavi e Tupper, 2004):

1. Planejamento estratégico
2. Decisões táticas
3. Construção de resiliência

+ **Canal indireto:** Modelos de simulação (ex: DSSAT-CANEGRO)

Amostra:

- 490 microrregiões brasileiras
- Critério: produtoras de cana-de-açúcar
- Período: 2003-2023 (21 anos)
- 10.290 observações

Definições:

- **Tratamento:** Instalação da primeira estação
- **Outcome:** $Y_{it} = \ln(1 + \text{PIB_Agro}_{it})$
- **Grupo:** $G_i = \text{ano da primeira estação}$

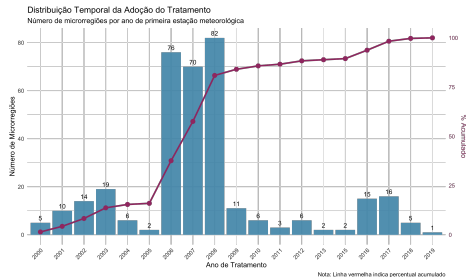


Figura: Distribuição temporal do tratamento

Status

351 microrregiões tratadas (71,6%)

O Problema do Tratamento Escalonado

TWFE Tradicional:

$$Y_{it} = \alpha_i + \lambda_t + \beta D_{it} + \epsilon_{it}$$

Problemas Identificados:

- Usa já tratados como controle
- Pesos potencialmente negativos
- Viés com efeitos heterogêneos

Goodman-Bacon (2021), Sun e Abraham (2021)

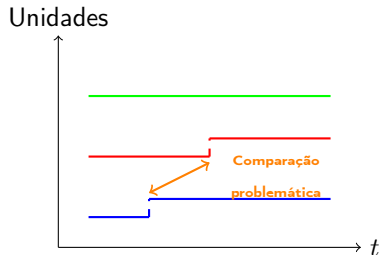


Figura: Comparações inadequadas no TWFE

Abordagem em 3 etapas:

1. Estimação Desagregada

- $ATT(g,t)$: efeito para grupo g no tempo t
- Comparação apenas com "not-yet-treated"

2. Agregação

- Overall ATT: $\theta_{sel}^O = \sum_g \theta_{sel}(g) \cdot P(G = g|G \leq T)$
- Event study: $\theta_{es}^{bal}(e)$ para tempo relativo e

3. Inferência

- Bootstrap multiplicativo (1.000 replicações)
- Clustering ao nível da microrregião

Estimador: Doubly Robust (DR) - consistente se outcome regression OU propensity score correto

Validação dos Pressupostos

1. Tendências Paralelas

- Visual: Event study pré-tratamento
- Formal: Teste F por coorte
- Resultado: $F = 1,136$ ($p = 0,322$)

2. No Anticipation

- Efeitos apenas após instalação física
- Se violado: estimativas conservadoras

3. Tratamento Irreversível

- Estações permanecem ativas
- Consistente com dados observados

4. Overlap

- Características sobrepostas
- Garantido pela seleção da amostra

Validação

Todos os pressupostos testados e validados empiricamente

Efeito Médio do Tratamento (ATT)

ATT = 0.082
(Aumento de 8.2% no PIB agropecuário)

Erro Padrão = 0.032
IC 95%: [1,9%; 14,5%]
p-valor = 0,0103

Interpretação

Equivale a mais de 2 anos de crescimento típico do setor (3-4% a.a.)

Robustez

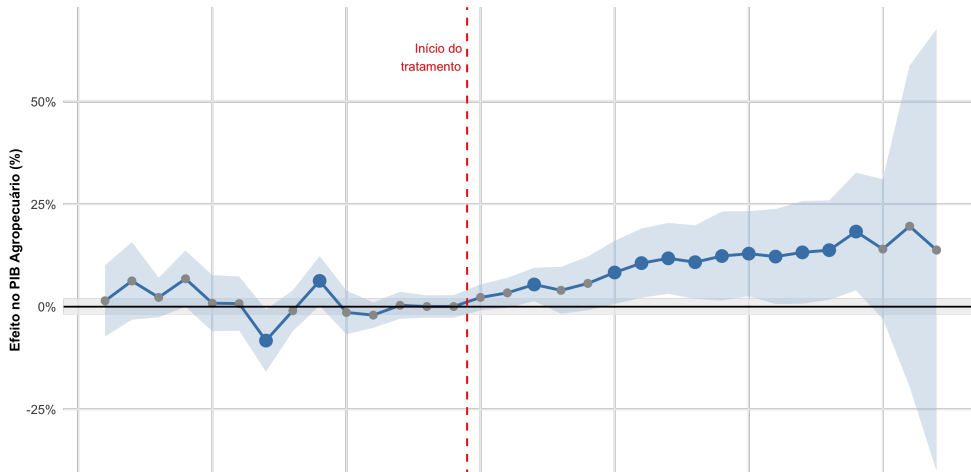
- DR: 8,2% ($p = 0,010$)
- IPW: 9,4% ($p = 0,003$)
- REG: 6,6% ($p = 0,030$)

Event Study: Dinâmica Temporal

Event Study: Impacto das Estações Meteorológicas no PIB Agropecuário

Efeito ao longo do tempo relativo à instalação

Significância estatística • Não significativo • Significativo (5%)



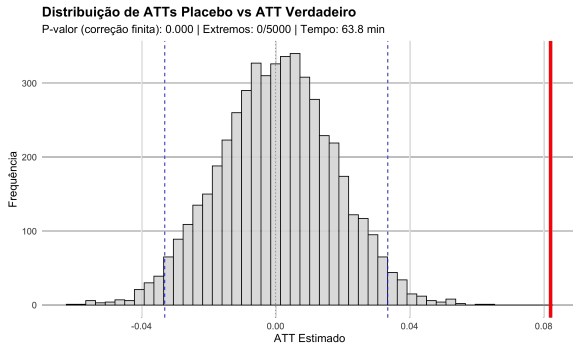
Teste de Randomização de Monte Carlo

Procedimento:

1. 5.000 simulações independentes
2. Randomizar tratamento:
 - Quais unidades
 - Quando tratadas
3. Estimar ATT para cada simulação
4. Construir distribuição empírica

P-valor empírico:

$$\hat{p} = \frac{1 + \sum \mathbb{I}\{|ATT^s| \geq |ATT^{obs}|\}}{5001}$$



Resultado

P-valor < 0,001

Menos de 0,1% das simulações com efeito similar

Testes Placebo e Sensibilidade

1. PIB Não-Agropecuário

- $ATT = 0,015$ ($p = 0,427$)
- Não significativo
- Confirma especificidade setorial

2. Atribuição Aleatória

- 50% tratadas em 2015
- $ATT = -0,024$ ($p = 0,485$)
- Modelo não gera efeitos espúrios

3. Sensibilidade Temporal

- Completo: 12,6%***
- Sem COVID: 11,7%***
- Sem início: 13,0%***

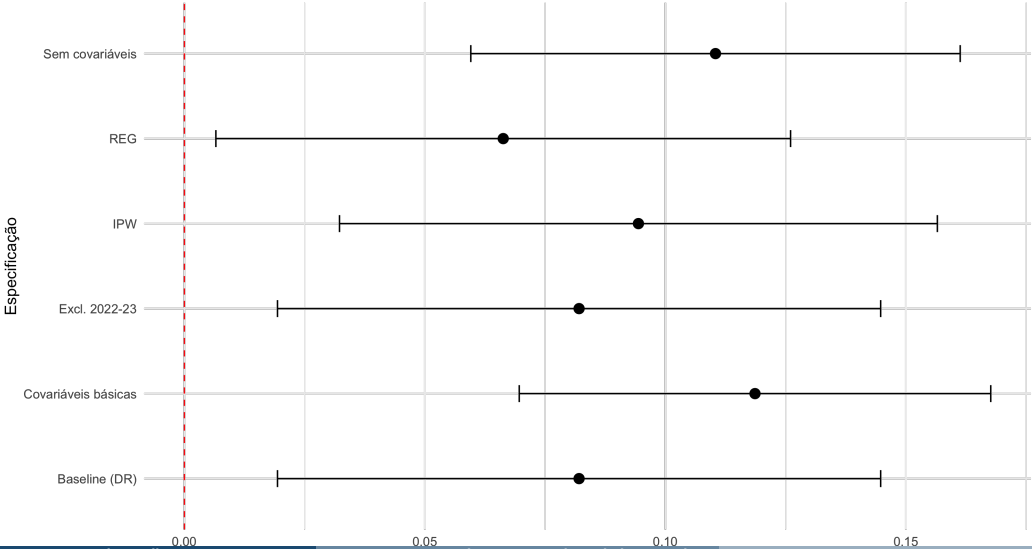
4. Grupo de Controle

- Not-yet-treated: 8,2%***
- Never-treated: 8,0%**

Conclusão: Efeito causal robusto e específico à agricultura

Síntese da Robustez

Análise de Robustez: ATT sob Diferentes Especificações



Magnitude Econômica

Contextualização:

- Crescimento típico do setor: 3-4% a.a.
- Efeito de 8,2% = salto estrutural
- 351 microrregiões beneficiadas
- 139 ainda sem cobertura (29%)

Investimento Anunciado (Dez/2024):

- MAPA: R\$ 49 milhões
- 220 novas estações
- Custo unitário: R\$ 223 mil

Evidência

Benefícios superam amplamente custos de implementação

Implicação

Expansão da rede justificada como estratégia de desenvolvimento e adaptação climática

Contribuições do Trabalho

1. Evidência Causal Pioneira

- Primeira quantificação rigorosa do impacto
- ATT = 8,2% robusto a múltiplas especificações

2. Avanço Metodológico

- Aplicação de DiD com tratamento escalonado
- Demonstração prática para políticas públicas

3. Caracterização da Dinâmica

- Processo gradual de difusão e aprendizado
- Efeitos persistentes no longo prazo

4. Subsídios para Políticas

- Retorno social supera custos
- Urgência na expansão para áreas descobertas

Informação meteorológica: investimento com retorno econômico comprovado

Obrigado!

Daniel Cavalli
`daniel.cavalli@ie.ufrj.br`

Código e dados:
`github.com/danielcavalli/tcc-ie-ufrj-2024`

Backup: Especificação do Modelo

Modelo principal:

- Outcome: $Y_{it} = \ln(1 + \text{PIB_Agro}_{it})$
- Tratamento: $W_{it} = \mathbb{I}\{t \geq G_i\}$
- Estimador: Doubly Robust

Covariáveis:

- Log da área plantada
- Log da população
- Log do PIB per capita
- Log da densidade estadual de estações

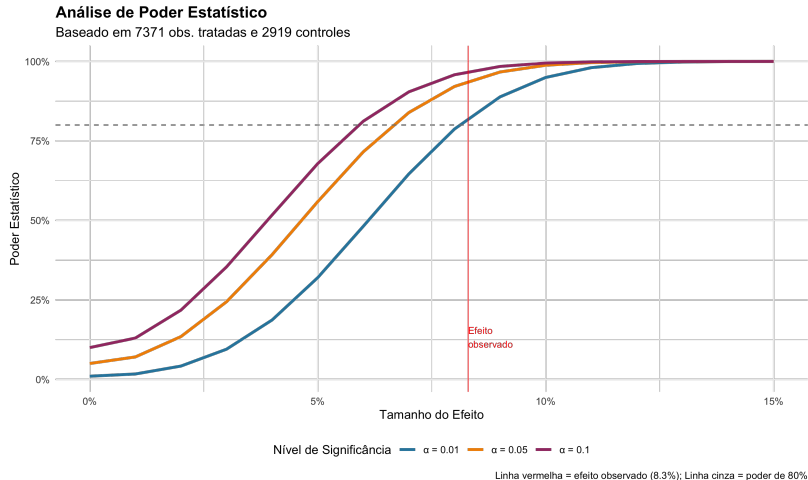
Clustering: Microrregião (490 clusters)

Backup: Distribuição Regional

Região	Microrregiões	Tratadas	% Tratadas
Norte	15	8	53,3%
Nordeste	142	45	31,7%
Centro-Oeste	51	22	43,1%
Sudeste	160	48	30,0%
Sul	26	8	30,8%
Total	490	351	71,6%

Fonte: Tabela B.2 do Apêndice (TCC, p. 92)

Backup: Análise de Poder Estatístico



- Para efeito de 8.2%: poder de 92,1% ($\alpha = 0,05$)
- Design adequado para detectar efeitos economicamente relevantes