

Modelagem Baseada em Agentes para Políticas Públicas: Intervenções, narrativas, alternativas

Bernardo Alves Furtado

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)

I Simpósio Brasileiro de Modelagem Baseada em Agentes
Faculdade de Saúde da USP–São Paulo–2026

Políticas públicas como objetos de sistemas complexos

Interação, espaço, dinâmica, comunicação: capacidades analíticas ABMs

Aplicação: PolicySpace3

Causalidade [23], [24]—no modelo

Limitações

Mensagem

Políticas públicas como objetos de sistemas complexos

1. **interação** agentes–ambiente
2. propriedades emergentes, auto-organização
3. **não-linearidade** e escalas
4. dinâmica e retroalimentação
5. **adaptação, aprendizado e evolução**

wicked problems [2]

mobilidade urbana

violência urbana

saúde pública

emergência climática

- múltiplos agentes **interdependentes**
- **adaptação** comportamental
- coordenação descentralizada
- **heterogeneidade** espacial e social
- trajetórias **historicamente** dependentes

ABMs como laboratórios computacionais para políticas públicas complexas

Características fundamentais de políticas públicas “exigem” modelos explicitamente interativos

2010s

complexidade como linguagem conceitual

ABM como abordagem **promissora, potencial**

experimentos **relativamente** artesanais

2020s

ABM como ferramenta operacional—BACENs [4]

integração bases de dados + capacidade computacional

narrativa, validação, empiria [5] mas ... ainda escasso [6]

Agent-based Modeling at Central Banks: Recent Developments and New Challenges

Banco de España Occasional Paper No. 2503

31 Pages • Posted: 12 Sep 2025

[Andrés Borsos](#)
Magyar Nemzeti Bank

[Adrian Carro](#)
Banco de España; University of Oxford • Institute for New Economic Thinking at the Oxford Martin School

[Aldo Glielmo](#)
Bank of Italy

[Marc Hinterschweiger](#)
Bank of England

[Jagoda Kaszowska-Mojca](#)
Institute of Economics, Polish Academy of Sciences

[Arzu Ulluc](#)
Bank of England

Date Written: February 28, 2025

**Interação, espaço, dinâmica, comunicação: capacidades
analíticas ABMs**

intervenções públicas alteram:

- acessibilidade, proximidade
- localização de famílias e firmas
- preços imobiliários
- mobilidade e segregação
- desigualdades regionais

políticas públicas **NÃO** afetam agentes igualmente

- famílias restrições distintas
- firmas respondem diferentemente
- informação é **localizada e imperfeita**
- decisões seguem heurísticas adaptativas

Tratamento/Intervenção importa

- sensibilidade institucional
- robustez de políticas
- vulnerabilidades sistêmicas
- efeitos distributivos
- dependência de trajetória

Da **teoria** à geração de dados novos (**simulações**), a partir de dados existentes para análise indutiva e (nova) **teoria** [7], [8]

The Generative Sufficiency Argument. Agent-based models provide formal demonstrations that a given microspecification is a *sufficient* condition, albeit not a necessary condition, to generate a macrostructure of interest.

Teoria → Mecanismos → Simulações → Padrões emergentes → Dados → Nova teoria

Exemplos organizam a narrativa: [9], [10]

*“como agentes plausíveis com mecanismos compreensivos interagem
para gerar trajetórias empíricas observáveis”*

- cenários contrafactuais
- trajetórias alternativas
- distribuições de resultados
- espaços de possibilidades
- ***ex ante*** vs. ex post

políticas precisam antecipar e funcionar:

- sob heterogeneidade
- sob adaptação
- sob choques
- sob incerteza estrutural

Capacidades explícitas ABM para Pol. Pub.

1. heterogeneidade de agentes
2. mercados interdependentes
3. interação local
4. espaço explícito
5. dinâmica temporal
6. políticas endógenas
7. feedbacks institucionais
8. investigação, experimentos

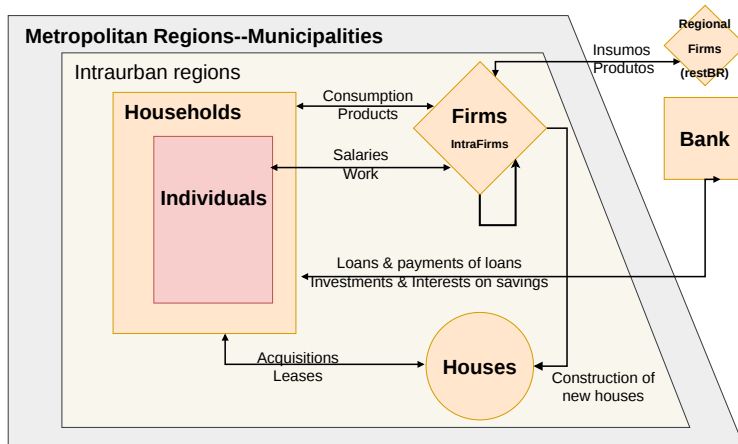
Aplicação: PolicySpace3

PolicySpace3: atributos

1. dinâmicas **demográficas** empiricamente fundamentadas
2. produção 12-setores **matrix Input-Output**,
3. mercados de bens e serviços, intermediários, trabalho, habitacionais e de aluguel com financiamento (FGTS/SBPE),
4. impostos
5. **emissões** ambientais
6. espacialmente explícito (**intraurbano**)
7. **intervenções** políticas públicas
8. múltiplas regiões conurbadas BR (185)
9. **plataforma** integrada ABM–**código aberto**

- Housing (financial/macroprudencial) modeling (ABM) [11]–[15]
- Land-use and Transport Models (LUTs), Cellular Automata (CA) [16]–[18]
- Macroeconomic Agent-based Models (MABs), Computational Economics, Computational Social Sciences [15], [19], [20]

Agentes e Espaço





[Home](#) > [Advances in Social Simulation](#) > [Conference paper](#)

Policy Comparisons and Causality in an Agent-Based Model

Conference paper | First Online: 21 July 2023
pp 95–100 | [Cite this conference paper](#)



Advances in Social Simulation
(ESSA 2023)

[Bernardo Alves Furtado](#) & [Vanessa Nadalin](#)

[Access this chapter](#)



Energy Policy

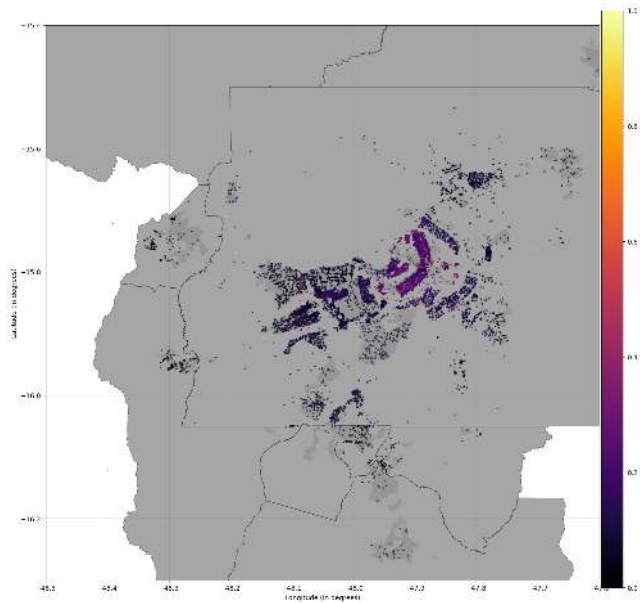
Volume 211, April 2026, 115095



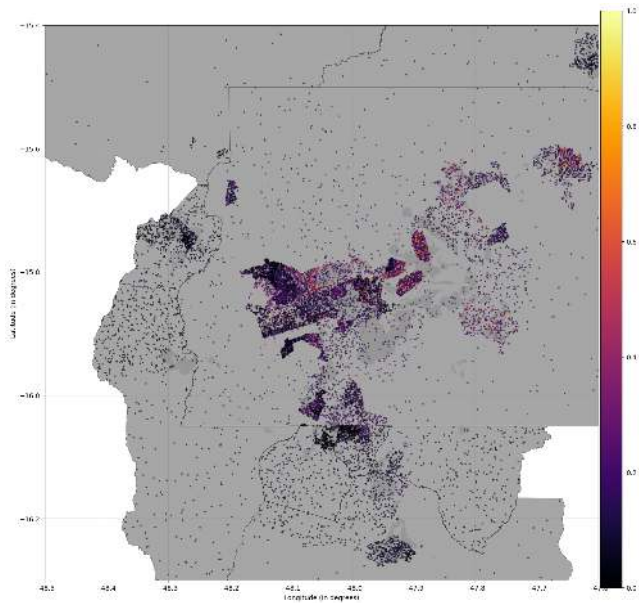
Innovation or contraction? Unpacking the effects of carbon taxes and subsidies on emissions in Brazil

[Gustavo L. Rocha Lima](#) , [Bernardo A. Furtado](#) , [Olendio F. Lopes](#)

Real



Simulado



- Microdados (heterogêneos), empíricos, espaciais
- **Integração** decisões consumo, imobiliário. Teórica
- Plataforma aditiva, modular
- Efeitos endógenos. Modelos existentes: a-espaciais ou exclusivamente espaciais, mercado financeiro, processos exógenos
- **Análise política intersetorial**

Validação como processo cumulativo e multidimensional:

1. Consistência macroeconômica

trajetórias de inflação, desemprego, PIB e desigualdade

2. Reprodução de fatos estilizados

padrões qualitativos do mercado imobiliário e do crédito

3. Correspondência com dados empíricos

preços imobiliários, arrecadação tributária e déficit habitacional

4. Robustez estrutural

sensibilidade à presença/ausência de mecanismos-chave

Resultados–PolicySpace2–GDP–Cross-policies [21]

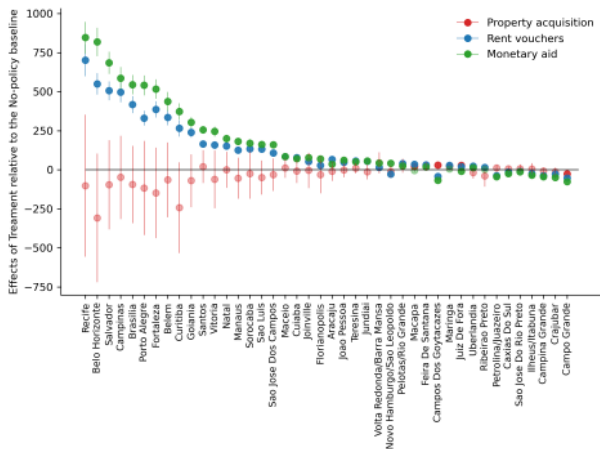


Figure: Efeitos políticas PIB, com controle população. **Scaling** (economia de aglomerações). Londrina: região de referência, instrumento: 'no-policy'.

Resultados–PolicySpace2–GINI

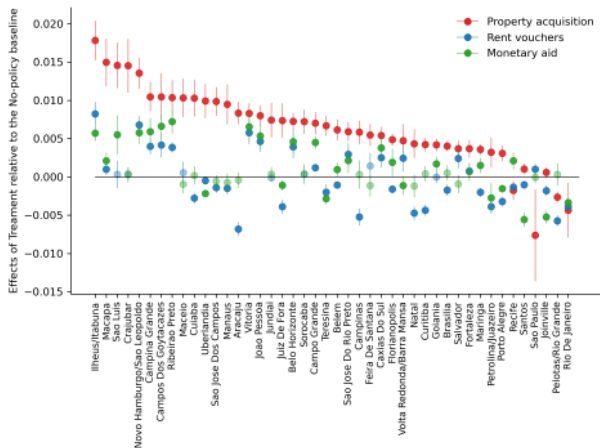
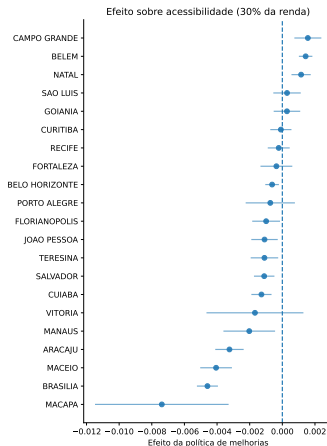
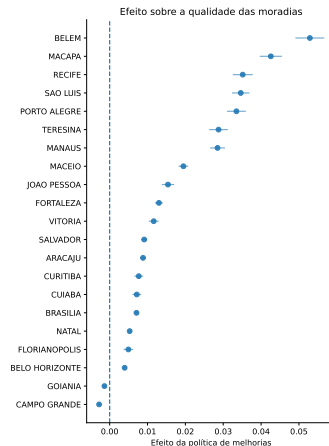


Figure: Efeitos políticas Gini, com controle população. Londrina: região de referência, instrumento: 'no-policy'.

Resultados–PolicySpace3–Acessibilidade



(a) Melhorias habitacionais e acessibilidade.



(b) Melhorias habitacionais e qualidade

Figure: Efeitos heterogêneos de políticas urbanas sobre acessibilidade qualidade no PolicySpace3.

Efeitos de taxas de carbono e subsídios [22]

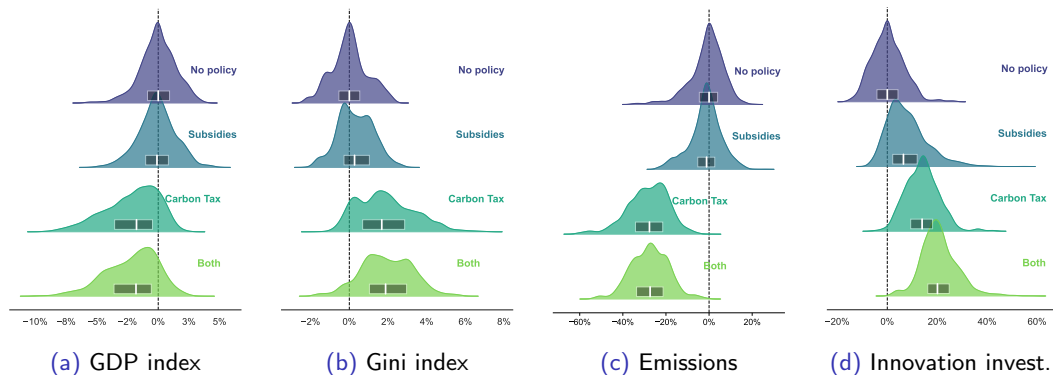


Figure: Taxas de carbono reduzem emissões, mas com perdas de PIB e aumento da desigualdade; subsídios elevam inovação sem impacto relevante no PIB.

Causalidade [23], [24]—no modelo

- Compreender causalidade e mecanismos permanece **central** para a ciência
- Persistem fortes pressupostos e dificuldades inerentes aos **contrafactuais**

- Diferença entre estados tratado e não tratado

$$\tau_i = Y_i(1) - Y_i(0) \quad (1)$$

- Um resultado apenas existe
- Inferência causal depende de **pressupostos** sobre confundimento

- ABMs: agentes seguem regras explícitas (**no confounders**) e são **idênticos** entre execuções
- Tratados e não tratados exatamente no mesmo **ambiente** (de novo, no confounders)
- Hipótese de **tendências paralelas** por construção

- Grafos tornam pressupostos causais explícitos
- DAGs representam relações entre variáveis e mecanismos

- SUTVA: ausência de interações, contágio ou efeitos de rede
- Confundimento entre tratamento e resultado
- Políticas graduais e efeitos de retroalimentação dificultam estratégias como diff-in-diff

- Mecanismos causais são explicitamente codificados
- Intervenções podem ser controladas e comparadas
- ABMs incorporam heterogeneidade, feedbacks e dinâmicas não lineares
- Integram agentes, redes, espaço e instituições

Por que ABMs?

- **Controle por construção:** ausência de confundidores ocultos conhecidos
- Tratamentos podem emergir **endogenamente no tempo**
- Capturam externalidades sociais, não linearidades e interações espaciais

- Regras fundamentadas teoricamente
- Calibração empírica baseada em dados reais
- Transparência e replicabilidade
- Necessidade de validação, análise de sensibilidade e consistência estrutural

- PolicySpace2: modelo espacialmente explícito e empiricamente calibrado
- Representa interações, heterogeneidade e feedbacks institucionais
- Fluxo analítico:
 1. teoria e mecanismos
 2. simulação ABM
 3. geração de dados sintéticos
 4. interpretação causal com DAGs
 5. análise econométrica

ABM como complementaridade metodológica

econometria

estatística espacial

DAGs

equilíbrio geral

machine learning [25]

mecanismos

heterogeneidade

feedbacks

não-equilíbrio

contrafactuais dinâmicos

Limitações

Limitações

- Flexibilidade
- Comunicação
- Responsabilidade
- Adoção

- calibração empírica,
- validação em sistemas abertos,
- tempo e complexidade computacional

Mensagem

- ABMs como ferramentas exploratórias, heurísticas e causais
- Laboratórios *in silico* para fenômenos não observáveis. **Ex ante**, espaço de probabilidades
- Sinergia, complementariedade: entre ABMs, DAGs, econometria, process tracing, etnografia, análise espacial

Obrigado

bernardo.furtado@ipea.gov.br

Referências I

- [1] B. A. Furtado and P. A. M. Sakowski, “Complexidade: uma revisão dos clássicos,” Dec. 2014. (visited on 05/20/2026).
- [2] L. M. A. Bettencourt, “Cities as complex systems,” in *Modeling Complex Systems for Public Policies*, B. A. Furtado, P. A. M. Sakowski, and M. H. Tóvolli, Eds., Brasília: Ipea, 2015, pp. 217–238.
- [3] B. A. Furtado, P. A. M. Sakowski, and M. H. Tóvolli, *Modelagem de Sistemas Complexos Para Políticas Públicas*. Brasília: IPEA, 2015, ISBN: 978-85-7811-248-6.
- [4] A. Borsos, A. Carro, A. Glielmo, M. Hinterschweiger, J. Kaszowska-Mojša, and A. Uluc, *Agent-based Modeling at Central Banks: Recent Developments and New Challenges*, SSRN Scholarly Paper, Rochester, NY, Feb. 2025. DOI: 10.2139/ssrn.5474986. Social Science Research Network: 5474986. (visited on 05/21/2026).
- [5] B. A. Furtado, “Simulation Modeling as a Policy Tool,” in *The Routledge Handbook of Policy Tools*, Taylor & Francis, 2023.
- [6] P. Ahrweiler, M. Schilperoord, A. Pyka, and N. Gilbert, “Modelling Research Policy: Ex-Ante Evaluation of Complex Policy Instruments,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 18, no. 4, p. 5, 2015, ISSN: 1460-7425.

Referências II

- [7] N. David, J. S. Sichman, and H. Coelho, "Simulation as formal and generative social science: The very idea," in *Worldviews, Science and Us: Philosophy and Complexity*, World Scientific, 2007, pp. 266–284.
- [8] J. M. Epstein, "Agent-based computational models and generative social science," *Complexity*, vol. 4, no. 5, pp. 41–60, 1999. (visited on 04/12/2016).
- [9] L. Mori Madeira, B. Alves Furtado, and A. Dill, "VIDA: A Simulation Model of Domestic Violence in Times of Social Distancing," *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 24, no. 4, p. 1, 2021, ISSN: 1460-7425.
- [10] B. A. Furtado, L. M. Madeira, E. Abrantes, V. C. Amaral Silva, and L. Ribeiro, "SobreVIDA: From data to dynamics and back in Intimate Partner Violence (IPV) modelling," in *XX Social Simulation Conference*, Delft, NL, Aug. 25.
- [11] R. Baptista, J. D. Farmer, M. Hinterschweiger, K. Low, D. Tang, and A. Uluc, "Macroprudential policy in an agent-based model of the UK housing market," *Working Paper Bank of England*, vol. 619, 2016.
- [12] J. Geanakoplos, R. Axtell, J. D. Farmer, *et al.*, "Getting at systemic risk via an agent-based model of the housing market," *American Economic Review*, vol. 102, no. 3, pp. 53–58, 2012.

Referências III

- [13] J. Goldstein, "Rethinking housing with agent-based models: Models of the housing bubble and crash in Washington DC area 1997-2009," [Doutorado, George Mason University, Fairfax, VA, USA, 2017.](#)
- [14] J. Ge, "Endogenous rise and collapse of housing price: An agent-based model of the housing market," [Computers, Environment and Urban Systems](#), vol. 62, pp. 182–198, 2017.
- [15] H. Dawid and D. D. Gatti, "Agent-Based Macroeconomics," in [Handbook on Computational Economics](#), vol. IV, Elsevier, 2018.
- [16] P. Waddell, "Integrated land use and transportation planning and modelling: Addressing challenges in research and practice," [Transport Reviews](#), vol. 31, no. 2, pp. 209–229, 2011.
- [17] R. White and G. Engelen, "Cellular automata and fractal urban form: A cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns," [Environment and Planning A](#), vol. 25, pp. 1175–1199, 1993.
- [18] T. Filatova, P. H. Verburg, D. C. Parker, and C. A. Stannard, "Spatial agent-based models for socio-ecological systems: Challenges and prospects," [Environmental Modelling & Software](#), Thematic Issue on Spatial Agent-Based Models for Socio-Ecological Systems, vol. 45, pp. 1–7, Jul. 2013, ISSN: 1364-8152. DOI: 10.1016/j.envsoft.2013.03.017. (visited on 07/17/2023).

Referências IV

- [19] M. Lengnick, “Agent-based macroeconomics: A baseline model,” *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 86, pp. 102–120, 2013. (visited on 08/10/2015).
- [20] B. Edmonds and R. Meyer, Eds., *Simulating Social Complexity: A Handbook* (Understanding Complex Systems), 2nd ed. Springer International Publishing, 2017, ISBN: 978-3-319-66947-2. DOI: 10.1007/978-3-319-66948-9. (visited on 01/05/2021).
- [21] B. Alves Furtado, “PolicySpace2: Modeling Markets and Endogenous Public Policies,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 25, no. 1, p. 8, 2022, ISSN: 1460-7425.
- [22] G. L. Rocha Lima, B. A. Furtado, and O. F. Lopes, “Innovation or contraction? Unpacking the effects of carbon taxes and subsidies on emissions in Brazil,” *Energy Policy*, vol. 211, p. 115 095, Apr. 2026, ISSN: 0301-4215. DOI: 10.1016/j.enpol.2026.115095. (visited on 02/02/2026).
- [23] M. Gianluca, *Agent-Based Models and Causal Inference* (Wiley Series in Computational and Quantitative Social Science). Paris, France: Wiley, 2022.
- [24] Alves Furtado, Bernardo and Nadalin, Vanessa Gapriotti, “Policy comparisons and causality in an agent-based model,” in *Advances in Social Simulation*, ser. Springer Proceedings in Complexity, Sprjnger Nature Switzerland, 2024, p. 11.

- [25] B. A. Furtado and G. O. Andreão, *Machine Learning Simulates Agent-Based Model Towards Policy*, Nov. 2022. DOI: [10.48550/arXiv.2203.02576](https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.02576). arXiv: [2203.02576](https://arxiv.org/abs/2203.02576) [cs, econ, q-fin]. (visited on 05/15/2023).