POLICYSPACE3: UMA PLATAFORMA ABERTA PARA SIMULAÇÃO *EX ANTE* DE POLÍTICAS PÚBLICAS[1]

Bernardo Alves Furtado[2]
Gustavo Libório Rocha Lima[3]
João Victor Lisbôa de Vasconcelos[4]

SINOPSE

PolicySpace3 é uma plataforma aberta de simulação computacional voltada à análise *ex ante* de políticas públicas. Baseada em modelagem por agentes e alimentada por dados censitários, registros administrativos e estatísticas oficiais, a plataforma representa famílias, firmas, governos locais e instituições financeiras interagindo em mercados de trabalho, bens e serviços, habitação, aluguel e crédito imobiliário. As simulações são realizadas para áreas de concentração urbana brasileiras em uma estrutura espacial detalhada com base nas áreas de ponderação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que permitem avaliar impactos distributivos, econômicos, fiscais e ambientais de diferentes intervenções públicas. Este texto apresenta os principais conceitos da plataforma, sua arquitetura computacional, formas de acesso e reprodução dos experimentos, além de sintetizar aplicações já desenvolvidas em temas como habitação, transferências governamentais, emissões de gases de efeito estufa, planejamento habitacional e mobilidade urbana. Atualmente, a plataforma oferece suporte mais direto à análise de políticas habitacionais, urbanas, distributivas, de mobilidade e de mercado de trabalho, ao mesmo tempo que fornece uma base estruturada para o desenvolvimento de aplicações em áreas como educação, saúde e saneamento. O código-fonte, a documentação e os exemplos de uso estão disponíveis publicamente, favorecendo transparência, replicabilidade e desenvolvimento colaborativo.

Palavras-chave: políticas públicas; modelagem baseada em agentes; simulação computacional; avaliação prospectiva; plataforma de simulação.

1 INTRODUÇÃO

Uma parcela importante dos problemas enfrentados pelas políticas públicas caracteriza-se pela presença de múltiplos agentes interdependentes, mecanismos de retroalimentação e resultados emergentes. Em sistemas dessa natureza, frequentemente descritos como problemas complexos, a compreensão isolada de cada componente não é suficiente para explicar o comportamento do conjunto. Mercados, famílias, empresas e governos influenciam-se mutuamente ao longo do tempo, fazendo com que os efeitos de uma intervenção dependam não apenas de seu desenho, mas também das respostas e adaptações desencadeadas nos demais elementos do sistema.

Ferramentas de simulação constituem um instrumento adicional aos métodos tradicionais de avaliação de políticas públicas. Ao representar explicitamente agentes, comportamentos e mecanismos de interação, essas abordagens permitem organizar o conhecimento disponível sobre determinado problema (a narrativa), explorar

1. DOI: https://dx.doi.org/10.38116/radar82art4.

2. Técnico de planejamento e pesquisa na Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Diset/Ipea). *E-mail*: bernardo.furtado@ipea.gov.br.

3. Assistente de pesquisa e ciência de dados sênior do Programa de Incentivo à Pesquisa Aplicada (Pipa) na Diset/Ipea. *E-mail*: gustavo.lima@ipea.gov.br.

4. Técnico de planejamento e pesquisa na Diretoria de Desenvolvimento Institucional (Dides) do Ipea. *E-mail*: joao.vasconcelos@ipea.gov.br.

cenários alternativos e analisar possíveis consequências de diferentes intervenções antes de sua implementação. A simulação não substitui a observação empírica nem a avaliação *ex post*, mas amplia a capacidade analítica, ao permitir a investigação de processos que ainda não ocorreram.

Essa agenda de simulação para políticas públicas tem raízes consolidadas na tradição de modelos macroeconômicos baseados em agentes (em inglês, *agent-based modeling* – ABM), que representam economias nacionais a partir da interação de agentes heterogêneos, prescindindo da hipótese de agente representativo e de equilíbrio geral, e que hoje contam com taxonomia própria de famílias de modelos e adoção crescente por bancos centrais e ministérios de finanças (Borsos *et al.*, 2025; Dawid e Delli Gatti, 2018; Dosi *et al.*, 2017; Dosi, Fagiolo e Roventini, 2010; Farmer e Foley, 2009; Geanakoplos *et al.*, 2012; Poledna *et al.*, 2023).

Na escala urbana, por outro lado, há um conjunto de modelos espacializados de base micro, voltados a mecanismos específicos: uso do solo (Filatova, Parker e Veen, 2009; Parker *et al.*, 2003), transporte (Waddell, 2011; Wegener, 2004) ou mercado imobiliário (Batty, 2005; Ge, 2014; Heppenstall *et al.*, 2012; White, Engelen e Uljee, 1997).

PolicySpace deriva da tradição macro ABM do ponto de vista comportamental: segue a lógica de agentes regidos por regras adaptativas, e não por otimização, na linha de Lengnick (2013). Entretanto, em vez de aplicar essa lógica à economia nacional, aplica-a à escala intraurbana, associando, num único arcabouço, mecanismos normalmente tratados de forma isolada pelos modelos espacializados de análise do uso do solo, transporte e habitação. Assim, integra multimercados na forma típica dos macro ABMs, porém transposta para a escala da cidade. Esse exercício, até onde chega nossa revisão, não tem paralelo direto na literatura internacional de modelagem baseada em agentes.

Este texto apresenta e disponibiliza a plataforma PolicySpace3, uma infraestrutura aberta de simulação voltada à análise de políticas públicas. O objetivo é oferecer uma visão geral de suas capacidades, formas de acesso e principais resultados, servindo como referência inicial para pesquisadores e gestores públicos enquanto documentações e estudos específicos sobre a plataforma continuam sendo desenvolvidos.

2 A PLATAFORMA POLICYSPACE3

PolicySpace3 é uma plataforma computacional de simulação baseada em agentes desenvolvida para apoiar a análise prospectiva de políticas públicas. Seu principal objetivo é permitir a realização de experimentos *ex ante*, nos quais diferentes alternativas de intervenção podem ser avaliadas antes de sua implementação, explorando potenciais efeitos econômicos, sociais, espaciais e ambientais.

A plataforma foi concebida para aproximar evidências empíricas e modelagem computacional. Para isso, combina dados censitários, registros administrativos e estatísticas oficiais em um ambiente de simulação capaz de representar a evolução de sistemas urbanos complexos ao longo do tempo. Em vez de estimar apenas relações observadas no passado, a abordagem permite explorar cenários alternativos, mudanças institucionais e combinações de políticas cujos resultados ainda não são conhecidos.

O desenvolvimento da plataforma busca responder a uma demanda recorrente do planejamento público: a necessidade de instrumentos que permitam testar hipóteses, comparar estratégias e antecipar possíveis consequências de decisões governamentais. Nesse sentido, PolicySpace3 funciona como um laboratório *in silico*, no qual diferentes configurações de políticas podem ser avaliadas de forma transparente e reproduzível.

Disponibilizada em código aberto, a plataforma pode ser utilizada tanto para fins de pesquisa quanto para aplicações de apoio à formulação de políticas públicas. Sua estrutura modular permite a incorporação de novos componentes, cenários e indicadores, favorecendo o desenvolvimento colaborativo e a adaptação a diferentes

problemas de interesse. A plataforma corresponde ao núcleo computacional e à infraestrutura comum de dados descritos na seção 3; cada aplicação corresponde a um modelo específico, construído sobre esse núcleo mediante a incorporação dos módulos substantivos e cenários de política descritos na seção 6.

3 ARQUITETURA E FUNCIONALIDADES DA PLATAFORMA

A plataforma PolicySpace3 é estruturada em torno da interação entre agentes heterogêneos (famílias, firmas, governos locais e instituição financeira) que tomam decisões de forma descentralizada e interagem em diferentes mercados ao longo do tempo.

A população simulada é construída a partir de microdados censitários e registros administrativos, preservando características observadas de renda, composição domiciliar, escolaridade e localização. As famílias ofertam trabalho, consomem bens e serviços, acumulam patrimônio, demandam moradia e tomam decisões de mudança residencial. As firmas produzem bens e serviços em diferentes setores econômicos, contratam trabalhadores e estabelecem preços. Os governos arrecadam tributos e executam políticas públicas, enquanto uma *proxy* de banco comercial opera o mercado de crédito imobiliário e o mercado de investimentos das famílias. A plataforma conta ainda com projeções demográficas exógenas, complementadas por dados de mortalidade por coorte/estado, fertilidade, imigração e casamentos.

As interações ocorrem simultaneamente em múltiplos mercados: trabalho, bens e serviços, compra e venda de imóveis, aluguel residencial e financiamento habitacional. A dinâmica econômica resultante emerge das decisões individuais dos agentes e de suas interações espaciais e contexto locais, permitindo observar efeitos distributivos, fiscais, econômicos e ambientais de diferentes políticas.

A dimensão espacial constitui um dos elementos centrais da plataforma. As simulações são realizadas para áreas de concentração urbana brasileiras, utilizando as áreas de ponderação do IBGE como unidade espacial básica. Essa estrutura permite representar desigualdades intraurbanas, padrões de deslocamento, localização das atividades econômicas e diferenças territoriais de acesso a oportunidades. Embora cada área de concentração urbana (regiões metropolitanas conurbadas) seja simulada de forma independente, a produção das firmas incorpora relações intersetoriais derivadas de matrizes insumo-produto regionalizadas exclusivas, incluindo a aquisição de insumos de fornecedores externos à região analisada. As matrizes insumo-produto trazem trocas entre a área de concentração urbana e o resto do país para doze setores explícitos: agricultura, mineração, manufatura, utilidades, construção, comércio, transporte, serviços empresariais, financeiro, imobiliário, outros serviços e governo.

A plataforma foi concebida de forma modular, permitindo a inclusão de novos mercados, agentes, políticas e indicadores. Além dos resultados econômicos convencionais, como produto, emprego e arrecadação tributária, o modelo produz indicadores de desigualdade, condições habitacionais, acessibilidade urbana e emissões de gases de efeito estufa, em um total de mais de sessenta indicadores gerais (e ainda vários para análises do banco, residências, famílias, firmas). Essa flexibilidade tem permitido sua utilização em diversas aplicações, incluindo avaliações de políticas habitacionais, transferências governamentais, mudanças climáticas e planejamento urbano.

O quadro 1 sintetiza essa arquitetura em termos formais, descrevendo agentes e seus estados, as decisões que tomam, os mercados em que interagem, a sequência temporal do modelo, os parâmetros que o configuram, as entradas empíricas que o alimentam e os indicadores que produz.

QUADRO 1
Estrutura formal do PolicySpace3

Dimensão	Síntese
Agentes	Agente (indivíduo), família, firma (12 setores), imóvel, Banco/Central, região.
Estados	Agente: idade, qualificação, gênero, saldo, emprego. Família: composição, renda, patrimônio, domicílio. Firma: capital, força de trabalho, preço, estoque. Imóvel: qualidade, preço, ocupação.
Decisões	Famílias: consumir, comprar/alugar imóvel, investir saldo poupado. Firmas: definir preço e produção, investir em eficiência ambiental; firmas da construção decidem lançar empreendimentos conforme a vacância observada; entrada de novas firmas segue o crescimento histórico setorial-regional. Mercado de trabalho: contratação/demissão por critério de três vias (folha/vendas, lucro e expansão da produção). Banco: conceder/cobrar crédito, aplicar juros observados. Governo: arrecadar tributos (consumo, folha, firma, propriedade, transação imobiliária e transporte); empregar trabalhadores do setor *governo* com salários financiados pela arrecadação do mês anterior; consumir bens dos demais setores; redistribuir a arrecadação entre municípios (igualitário, local e FPM). Fundos habitacionais (MCMV/FGTS/SBPE) constituem recursos federais exógenos aplicados separadamente via políticas habitacionais.
Mercados	Trabalho, bens e serviços, compra e venda de imóveis, aluguel e crédito imobiliário, operando de forma integrada.
Sequência temporal	Ciclos mensais: atualização de juros, produção, demografia, consumo, mercado de trabalho, mercado imobiliário, crédito, tributos e políticas públicas.
Parâmetros centrais	Parâmetros configuráveis sem alteração do código-fonte, organizados em blocos: firmas e produção (19); compra e venda de imóveis (10); aluguel (3); decisão de compra (4); construção civil (12); crédito e financiamento (7); governo e tributação (7); emissões (7); transporte (6); qualidade de vida (6); consumo (2); escala da simulação (1). Um bloco adicional (16 parâmetros) configura experimentos de políticas públicas (transferências, aluguel social, subsídios, fundos habitacionais e cenários orçamentários).
Entradas empíricas	Microdados censitários por área de ponderação; registros administrativos (Rais e localização de firmas); tábuas de fecundidade e mortalidade; idade de casamento; malhas do IBGE; matrizes insumo-produto regionalizadas; matriz origem-destino de tempos de deslocamento; séries de juros; percentuais FGTS/SBPE; repasses do FPM; emissões setoriais; IDHM 2000-2010.
Saídas e indicadores	Indicadores macroeconômicos (PIB, inflação, preços); mercado de trabalho (emprego, desemprego, salários); habitação (vacância, preços, aluguel, qualidade, inadimplência); crédito (operações, motivos de negação e estoque); desigualdade e bem-estar (Gini, utilidade, consumo, acessibilidade habitacional, QLI); firmas (lucro, estoques, eficiência ambiental, inovação); fiscal (tributos, subsídios e fundos); e emissões setoriais. Resultados gravados mensalmente em arquivos CSV, com desagregação por agente, família, firma, imóvel e banco.

Fonte: IBGE (censos demográficos 2000, 2010 e 2022 – projeções de fecundidade e mortalidade por unidade da federação, estimativas municipais de população, malhas territoriais, delimitação das Áreas de Concentração Urbana, Matriz de Insumo-Produto 2015 e produto interno bruto dos municípios); Relação Anual de Informações Sociais – Rais/Ministério do Trabalho e Emprego (firmas por área de ponderação, composição setorial do emprego e vínculos do setor Governo); Secretaria do Tesouro Nacional (repasses do FPM); Banco Central do Brasil (séries de juros e taxas reguladas de crédito habitacional); Associação Brasileira das Entidades de Crédito Imobiliário e Poupança – Abecip e Caixa Econômica Federal (financiamento habitacional e contratos do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço por município); Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES (matriz origem-destino de tempos de deslocamento); Alvarenga Junior (2024) (emissões setoriais); e Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2000-2010 (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, Ipea e Fundação João Pinheiro).
Elaboração dos autores.
Obs.: FPM – Fundo de Participação dos Municípios; MCMV – Minha Casa Minha Vida; FGTS – Fundo de Garantia do Tempo de Serviço; SBPE – Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimo; IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal; PIB – produto interno bruto; e QLI – Quality of Life Index.

4 CALIBRAGEM E VALIDAÇÃO

A calibração do PolicySpace3 segue a abordagem de Windrum, Fagiolo e Moneta (2007) e Fagiolo *et al.* (2019): validação por fatos estilizados, não por ajuste a uma série histórica específica. O processo tem três etapas: calibrar parâmetros a partir de conhecimento prévio e dados empíricos; comparar os resultados simulados com fatos estilizados observados; e reter a configuração que os reproduz de forma mais consistente. PolicySpace3 é calibrado simultaneamente para as 27 capitais estaduais, com um único conjunto de parâmetros comportamentais comum a todas (não cidade a cidade), de modo que diferenças entre cidades reflitam diferenças de estrutura urbana, e não de especificação do modelo. Entretanto, o modelo está habilitado para simular todas as áreas de concentração urbana do IBGE, estabelecidas no Censo 2022, bem como uma lista de municípios específicos, desde que calculada a devida matriz insumo-produto.[5]

Os fatos estilizados usados como alvo de coerência macroeconômica são as relações negativas entre preços, desemprego e produto da Curva de Phillips e da Lei de Okun: regressões em painel confirmam ambas nas 27 áreas, com sinal e significância preservados, quando o painel é estratificado por cenário de juros e por regime de política.

5. Ver Furtado, Lima e Lopes (2024).

Para o módulo habitacional, a seleção de parâmetros considerou ainda sete indicadores de referência: estoque de imóveis/PIB, razão preço/renda mensal e anual, vacância, consumo/PIB, produção habitacional por mil habitantes e estoque habitacional/renda permanente, comparados a faixas empíricas para o país.[6]

Além da calibração por fatos estilizados, o PolicySpace3 passa por duas checagens adicionais, de natureza distinta. A primeira é uma verificação estrutural da implementação: confirmar a presença e a correta codificação das regras descritas no quadro 1 e a plausibilidade dos indicadores macroeconômicos centrais: um procedimento de checagem de implementação, não de validação empírica. A segunda é uma validação empírica, que compara resultados simulados a dados obtidos de forma independente: na primeira geração da plataforma, a reprodução da arrecadação tributária observada (em % do PIB e em valor total, com teste de Kolmogorov-Smirnov entre áreas); na segunda, a comparação de preços simulados do mercado imobiliário com uma base de preços obtida de forma independente para Brasília; e, mais recentemente, sua aplicação ao caso do Plano Nacional de Habitação (PlanHab).

Cabe distinguir quatro camadas da plataforma, cada uma com padrão de validação próprio: i) o núcleo geral, isto é, a arquitetura de agentes, mercados e sequência temporal do quadro 1, cuja implementação foi verificada estruturalmente e cuja coerência macroeconômica foi validada pelos testes acima; ii) os módulos substantivos já implementados (trabalho, habitação, crédito, tributação, emissões), cada um validado contra faixas de referência aproximadas para o país, como vacância, produção habitacional por mil habitantes e relação preço/renda no caso da habitação; iii) os cenários de política já testados (PlanHab, FPM, taxação de carbono, subsídios à inovação verde, tratados na seção 6), cuja validade depende da dos módulos subjacentes; e iv) as extensões ainda potenciais (educação, saúde, saneamento, na seção 7), que herdam o núcleo validado, mas ainda sem módulos próprios implementados ou calibrados.

Essa calibração funciona, na prática, como restrição, não como grau de liberdade: o mesmo conjunto de parâmetros comportamentais precisa produzir, simultaneamente, resultados plausíveis de desemprego, desigualdade, vacância habitacional, volume de construção e coerência nas 27 cidades. Esse comportamento evidencia que o conjunto de parâmetros comportamentais é fortemente restringido pela necessidade de reproduzir simultaneamente os fatos estilizados nas 27 cidades.

5 ACESSO, EXECUÇÃO E REPRODUTIBILIDADE

A plataforma PolicySpace3 é disponibilizada em código aberto, permitindo acesso integral aos algoritmos, parâmetros e rotinas de processamento utilizados nas simulações. Essa característica favorece a transparência metodológica, a reprodutibilidade dos resultados e a colaboração entre pesquisadores e gestores públicos interessados em adaptar ou expandir a plataforma.

O código-fonte encontra-se organizado em um repositório público,[7] contendo a implementação do modelo, documentação básica de uso, exemplos de execução e arquivos auxiliares de configuração. A plataforma foi desenvolvida em Python e requer a instalação de um conjunto de bibliotecas voltadas ao processamento de dados, análise espacial, computação científica e visualização de resultados.

Uma vez instalado, o modelo pode ser executado diretamente por linha de comando. O modo mais simples consiste em realizar uma única simulação utilizando os parâmetros-padrão do sistema. Alternativamente, o usuário pode executar múltiplas rodadas em paralelo, explorando diferentes sementes aleatórias e produzindo distribuições de resultados que permitem estimar médias, intervalos de confiança e medidas de robustez. Também

6. Como se pode ver em Furtado *et.al*. *Housing markets and inequality: identifying the distributional mechanisms of urban agglomeration*. (No prelo).

7. Disponível em: https://github.com/bafurtado/ps3. Ver arquivo README.md.

estão disponíveis rotinas automatizadas para análises de sensibilidade, nas quais parâmetros específicos podem ser sistematicamente variados, para avaliar sua influência sobre os resultados observados. Cada simulação gera gráficos automáticos com vários indicadores.

A configuração do modelo pode ser modificada sem alterar o código principal. Arquivos locais permitem sobrescrever parâmetros-padrão e definir aspectos operacionais da execução, como diretórios de saída, frequência de armazenamento dos resultados e características dos experimentos. Essa estratégia facilita a realização de estudos comparativos e o desenvolvimento de novos cenários de políticas públicas.

Além do código-fonte, a plataforma disponibiliza documentação de exemplos de aplicação que auxiliam na reprodução dos experimentos já realizados. Os resultados são gravados em arquivos CSV para análise estatística posterior ou explorados por meio de ferramentas de visualização desenvolvidas especificamente para a plataforma, descritas em texto complementar desta edição do Radar: *Facilitando a análise de simulações urbanas: um painel interativo para o PolicySpace3*.

6 EVOLUÇÃO E APLICAÇÕES DA PLATAFORMA

O desenvolvimento da plataforma ocorreu de forma incremental e modular. As primeiras versões investigaram aspectos de governança metropolitana, integração regional e dinâmica espacial urbana (Furtado e Eberhardt, 2016; Furtado, Eberhardt e Messa, 2017). Os experimentos iniciais demonstraram que a mobilidade residencial das famílias constitui um mecanismo central para a organização do espaço urbano: famílias de maior renda tendem a migrar para localidades com melhor oferta de serviços públicos e maior qualidade de vida, enquanto famílias mais pobres concentram-se em áreas com menor provisão de serviços e preços imobiliários mais baixos. Como consequência, modelos com maior fragmentação espacial apresentam economias mais dinâmicas, porém também mais desiguais e heterogêneas, ao passo que cenários sem diferenciação regional resultam em estruturas mais homogêneas, porém menos dinâmicas. Esses resultados evidenciaram a importância de representar explicitamente a dimensão espacial e as interações entre mercado imobiliário, localização residencial e provisão de serviços públicos.

Na sequência, a plataforma foi utilizada para analisar os efeitos de diferentes arranjos institucionais e mecanismos de transferência fiscal sobre o bem-estar urbano. Simulações realizadas para áreas urbanas brasileiras indicaram que a retirada dos repasses do FPM produz impactos negativos persistentes sobre a qualidade de vida municipal, especialmente em localidades mais dependentes dessas transferências. Em contraste, a unificação orçamentária entre municípios conurbados – frequentemente apresentada como alternativa de governança metropolitana – mostrou efeitos distributivos relativamente modestos. Os resultados sugerem que mudanças nas regras de transferências federativas tendem a produzir consequências mais relevantes para o bem-estar local do que alterações administrativas na estrutura municipal (Furtado, 2018a, 2018b).

Posteriormente, a segunda geração da plataforma incorporou mercados imobiliários mais detalhados e mecanismos explícitos de formulação de políticas públicas. Essa ampliação permitiu comparar diferentes instrumentos habitacionais, incluindo transferência de renda, aluguel social e subsídios à aquisição de moradias. As simulações, realizadas para dezenas de áreas urbanas brasileiras, indicaram que transferências monetárias e *vouchers* de aluguel tendem a gerar maiores efeitos sobre a atividade econômica local e resultados distributivos mais favoráveis. Por outro lado, programas baseados exclusivamente na aquisição subsidiada de imóveis apresentaram impactos econômicos mais modestos e, em alguns casos, aumento da desigualdade de renda. Os resultados evidenciam que diferentes instrumentos habitacionais produzem efeitos distintos sobre bem-estar, desigualdade e dinâmica urbana, reforçando a importância de análises integradas para apoiar decisões públicas (Furtado, 2022a, 2022b).

Um exemplo concreto com resultados publicados é o exercício de causalidade conduzido com o PolicySpace2, que compara três instrumentos – aquisição subsidiada de imóveis (nos moldes do MCMV), *voucher* de aluguel e transferência de renda – em cerca de 45 áreas urbanas brasileiras. O exercício usa grafos acíclicos direcionados (em inglês, *directed acyclic graphs* – DAGs), para mapear os mecanismos do modelo, e regressão em painel (diferenças em diferenças), para estimar o efeito causal de cada instrumento sobre o PIB e sobre o índice de Gini, controlando por população, condicionado à estrutura de mecanismos especificados no modelo (Furtado e Nadalin, 2023). Os resultados mostram que a aquisição de imóveis reduz o índice de PIB simulado[8] em cerca de 50 pontos perante o cenário sem política e não altera o Gini de forma significativa, enquanto o *voucher* de aluguel e a transferência de renda aumentam o PIB em cerca de 70 e 112 pontos, respectivamente, e reduzem o Gini em cerca de 0,05 e 0,01, ambos com significância estatística. Esse achado *ex ante* converge com uma avaliação *ex post* independente: o relatório oficial de avaliação do PMCMV (CMAP, 2020, p. 61) conclui que "uma intervenção mais direcionada às causas subjacentes ao déficit, como a geração de renda, poderia ser um caminho mais eficaz para a sua redução" do que a produção habitacional subsidiada.

A incerteza desses resultados não é expressa como erro-padrão de uma série histórica observada, mas de duas formas próprias do exercício simulado: a significância estatística e a dispersão dos coeficientes da própria regressão em painel além da variação entre rodadas estocásticas do modelo (seção 5). Como em qualquer exercício *ex ante*, a validade desses achados causais é condicionada à confiabilidade do modelo calibrado (seção 4): trata-se de suporte à decisão de política, não de previsão.

Mais recentemente, a plataforma passou a incorporar mecanismos relacionados à sustentabilidade ambiental e à inovação tecnológica. Essa nova versão permitiu avaliar os efeitos de impostos sobre carbono e de subsídios à inovação verde sobre emissões, atividade econômica e distribuição de renda (Lima, Furtado e Lopes, 2026). Os resultados confirmam que a taxação de carbono é eficaz na redução das emissões, mas pode impor custos econômicos e distributivos relevantes, quando implementada isoladamente. Em contraste, subsídios à inovação verde estimulam investimentos tecnológicos, mas produzem efeitos limitados sobre emissões na ausência de incentivos à demanda por tecnologias limpas. As simulações sugerem que combinações de instrumentos tendem a alcançar melhores resultados ambientais, ao mesmo tempo que mitigam parte dos custos econômicos e distributivos associados à transição.

Além dos estudos publicados, a plataforma vem sendo utilizada em aplicações institucionais e exercícios exploratórios (quadro 2). Entre eles, destacam-se simulações preliminares de alterações nos tempos de deslocamento urbano e análises relacionadas ao Plano Nacional de Habitação (PlanHab), incluindo cenários alternativos de melhorias habitacionais e diferentes níveis de investimento público. Parte desses resultados encontra-se em processo de divulgação científica.

QUADRO 2
Principais aplicações da plataforma PolicySpace

Tema	Questão analisada	Principais achados	Referência
Governança urbana e laboratório espacial	Desenvolvimento do conceito de laboratório econômico espacial para apoio a políticas públicas	A mobilidade residencial gera segregação espacial endógena: cidades mais fragmentadas tornam-se economicamente mais dinâmicas, mas também mais desiguais e heterogêneas.	Furtado e Eberhardt (2016); Furtado, Eberhardt e Messa (2017)
Documentação da plataforma	Estrutura conceitual, implementação e funcionalidades da primeira versão	Consolidação da arquitetura da plataforma para análise integrada de mercados, famílias, firmas e governos em ambiente espacializado.	Furtado (2018b)

(Continua)

8. Medido em unidades do próprio modelo, sem correspondência direta a valores monetários.

(Continuação)

Tema	Questão analisada	Principais achados	Referência
Governança metropolitana e transferências fiscais	Unificação orçamentária e redistribuição fiscal entre municípios conurbados	A retirada do FPM reduz significativamente a qualidade de vida municipal, enquanto a unificação orçamentária produz efeitos distributivos modestos.	Furtado (2018a, 2018b)
Habitação e bem-estar	Comparação entre transferência de renda, aluguel social e subsídios habitacionais	Transferências monetárias e *vouchers* de aluguel apresentam melhores resultados econômicos e distributivos do que subsídios à aquisição de moradias.	Furtado (2022a, 2022b)
Mudanças climáticas	Efeitos de impostos sobre carbono e subsídios à inovação verde	Taxas de carbono reduzem emissões, mas podem gerar custos econômicos e distributivos; sua combinação com incentivos à inovação produz resultados mais equilibrados.	Lima, Furtado e Lopes (2026)
Mobilidade urbana	Impactos de alterações nos tempos de deslocamento	Simulações exploratórias investigam efeitos de acessibilidade e de mobilidade sobre bem-estar, mercado de trabalho e dinâmica urbana.	Estudos em andamento
Planejamento habitacional	Avaliação de melhorias habitacionais e cenários de investimento para o PlanHab	Exercícios prospectivos analisam impactos de melhorias habitacionais e diferentes níveis de financiamento sobre qualidade das moradias, acessibilidade e bem-estar.	Relatórios institucionais e estudos em submissão

Elaboração dos autores.

7 ADAPTAÇÃO DA PLATAFORMA PARA NOVAS ANÁLISES

A utilidade da plataforma PolicySpace3 depende do tipo de problema analisado. Sua principal contribuição ocorre em situações nas quais famílias, firmas e governos interagem continuamente, produzindo efeitos indiretos, mecanismos de retroalimentação e resultados que emergem das decisões descentralizadas dos agentes. Nesses contextos, a análise isolada de cada componente frequentemente não é suficiente para compreender o funcionamento do sistema como um todo.

Em razão de sua estrutura atual, a plataforma encontra-se particularmente preparada para investigar políticas relacionadas a habitação, mobilidade urbana, mercado de trabalho, transferências governamentais, bem-estar, desigualdade, dinâmica demográfica, migração e funcionamento de mercados urbanos. Nessas áreas, os principais agentes, mercados e bases de dados já estão representados, permitindo que novas políticas sejam incorporadas com adaptações relativamente simples.

Outros temas podem demandar o desenvolvimento de mecanismos adicionais e a incorporação de novas bases de dados. Análises voltadas para educação, saúde ou saneamento, por exemplo, podem exigir a representação explícita de escolas, unidades de saúde, infraestrutura de atendimento ou critérios específicos de provisão de serviços públicos. Ainda assim, essas extensões se beneficiam da estrutura já existente da plataforma, que incorpora a distribuição espacial da população, características socioeconômicas das famílias, dinâmica demográfica, mercado de trabalho e mercado imobiliário.

Em última instância, a adequação da plataforma depende da pergunta de política pública que se deseja responder. Mais do que uma ferramenta universal, PolicySpace3 constitui uma infraestrutura de simulação voltada à análise de problemas em que interações sociais, econômicas e espaciais desempenham papel relevante na determinação dos resultados observados.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A plataforma PolicySpace3 representa um esforço de consolidação de uma infraestrutura aberta para simulação *ex ante* de políticas públicas no contexto brasileiro. Ao combinar modelagem baseada em agentes, dados empíricos detalhados e representação espacial das áreas urbanas, a plataforma permite explorar, de forma integrada, os efeitos econômicos, sociais, fiscais e ambientais de diferentes intervenções governamentais.

Mais do que um modelo específico, a PolicySpace3 foi concebida como um ambiente de experimentação e desenvolvimento contínuo. Sua arquitetura modular e seu caráter aberto favorecem a incorporação de novos mecanismos, bases de dados e agendas de pesquisa, ampliando as possibilidades de utilização por pesquisadores, gestores públicos e instituições interessadas em análise prospectiva.

Em um contexto de crescente complexidade dos desafios públicos, instrumentos capazes de representar interações, adaptações e efeitos indiretos tornam-se complementos relevantes às abordagens tradicionais de avaliação. Nesse sentido, a disponibilização pública da plataforma busca contribuir para o fortalecimento da transparência, da reprodutibilidade e da capacidade analítica aplicada ao desenho e à avaliação de políticas públicas.

REFERÊNCIAS

BATTY, M. Agents, cells and cities; new representational models for simulating multi-scale urban dynamics. **Environment and Planning A**: economy and space, v. 37, n. 8, p. 1373-1394, ago. 2005.

BORSOS, András *et al.* **Agent-based modeling at central banks**: recent developments and new challenges. Madri: Banco de España, fev. 2025. (Documentos Ocasionales, n. 2503). Disponível em: https://papers.ssrn.com/abstract=5474986. Acesso em: 21 maio 2026.

CMAP – CONSELHO DE MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS. **Relatório de Avaliação Programa Minha Casa, Minha Vida**. Brasília: MPO, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/planejamento/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/cmap/politicas/2020/subsidios/relatorio_avaliacao-cmas-2020-pmcmv.pdf/@@display-file/file.

DAWID, Herbert; DELLI GATTI, Domenico. Agent-based macroeconomics. *In*: HOMMES, Cars; LEBARON, Blake (ed.). **Computational economics**: heterogenous agent modeling. Amsterdã: North-Holland, 2018. p. 63-156. (Série Handbooks in Economics, v. 4).

DOSI, G. *et al.* When more flexibility yields more fragility: the microfoundations of keynesian aggregate unemployment. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 81, p. 162-186, 1º ago. 2017.

DOSI, Giovanni; FAGIOLO, Giorgio; ROVENTINI, Andrea. Schumpeter meeting Keynes: a policy-friendly model of endogenous growth and business cycles. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 34, n. 9, p. 1748-1767, 2010.

FAGIOLO, Giorgio *et al.* Validation of agent-based models in economics and finance. *In*: BEISBART, Claus; SAAM, Nicole J. (ed.). **Computer simulation validation**: fundamental concepts, methodological frameworks, and philosophical perspectives. Cham: Springer, 2019. p. 763-787. (Série Fundamentos, Métodos e Aplicações da Simulação).

FARMER, J. Doyne; FOLEY, Duncan. The economy needs agent-based modelling. **Nature**, v. 460, n. 7256, p. 685-686, 6 ago. 2009.

FILATOVA, Tatiana; PARKER, Dawn; VEEN, Anne van der. Agent-based urban land markets: agent's pricing behavior, land prices and urban land use change. **Journal of Artificial Societies & Social Simulation**, v. 12, n. 1, 2009.

FURTADO, Bernardo Alves. PolicySpace: a modeling platform. **Journal on Policy and Complex Systems**, v. 4, n. 2, p. 17-30, 2018a.

FURTADO, Bernardo Alves. **PolicySpace**: modelagem baseada em agentes. Rio de Janeiro: Ipea, 2018b.

FURTADO, Bernardo Alves. PolicySpace2: modeling markets and endogenous public policies. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation,** v. 25, n. 1, p. 1-8, 2022a.

FURTADO, Bernardo Alves. **PolicySpace2**: modelando mercado imobiliário e políticas públicas. Rio de Janeiro: Ipea, 2022b.

FURTADO, Bernardo Alves; EBERHARDT, Isaque Daniel Rocha. A simple agent-based spatial model of the economy: tools for policy. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 19, n. 4, p. 12, out. 2016.

FURTADO, Bernardo Alves; EBERHARDT, Isaque Daniel Rocha; MESSA, Alexandre. Governance for smart cities: a spatially-bounded economic agent-based lab (SEAL) to foster urban analysis and policy evaluation. *In*: AIJAZ, Rumi (ed.). **Smart cities movement in BRICS**. Nova Deli: Observer Research Foundation; Global Policy Journal, 2017. p. 63-71.

FURTADO, Bernardo Alves; LIMA, Gustavo L. Rocha; LOPES, Olandia F. Estruturas produtivas regionais com matrizes insumo-produto e ilustração de aplicação ambiental. **Radar**: tecnologia, produção e comércio exterior, Brasília, n. 76, p. 29-38, ago. 2024. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/8742e48a-3223-4e24-bed1-14847c45ce5b/content.

FURTADO, Bernardo; NADALIN, Vanessa. Policy comparisons and causality in an agent-based model. *In*: SOCIAL SIMULATION CONFERENCE, 18., set. 2023, Glasgow, Reino Unido. **Proceedings** [...]. Glasgow, Reino Unido: ESSA, 2023.

GE, Jiaqi. **Stepping into new territory**: three essays on agent-based computational economics and environmental economics. Dissertation (Doctoral Degree) – Iowa State University, Ames, 2014.

GEANAKOPLOS, John *et al.* Getting at systemic risk via an agent-based model of the housing market. **The American Economic Review**, v. 102, n. 3, p. 53-58, 2012.

HEPPENSTALL, Alison J. *et al.* (ed.). **Agent-based models of geographical systems**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012.

LENGNICK, Matthias. Agent-based macroeconomics: a baseline model. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v. 86, p. 102-120, 2013.

LIMA, Gustavo L. R.; FURTADO, Bernardo A.; LOPES, Olandia F. Innovation or contraction? Unpacking the effects of carbon taxes and subsidies on emissions in Brazil. **Energy Policy**, v. 211, 115095, abr. 2026.

PARKER, Dawn C. *et al.* Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 93, n. 2, p. 314-337, 2003.

POLEDNA, Sebastian *et al.* Economic forecasting with an agent-based model. **European Economic Review**, v. 151, p. 104306, 2023.

WADDELL, Paul. Integrated land use and transportation planning and modelling: addressing challenges in research and practice. **Transport Reviews**, v. 31, n. 2, p. 209-229, 2011.

WEGENER, Michael. Overview of land-use transport models. *In*: HENSHER, David A. *et al.* (ed.). **Handbook of transport geography and spatial systems**. Bingley: Emerald, 2004. p. 127-146. (Série Handbooks in Transport, v. 5).

WHITE, Roger; ENGELEN, Guy; ULJEE, I. The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land-use dynamics. **Environment and Planning B**: urban, analytics and city science, v. 24, n. 3, p. 323-343, 1997.

WINDRUM, Paul; FAGIOLO, Giorgio; MONETA, Alesio. Empirical validation of agent-based models: alternatives and prospects. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 10, n. 2, 2007.