



POLICYSPACE

MODELAGEM BASEADA EM AGENTES

Bernardo Alves Furtado



O futuro não é previsível. É construído. Contextualmente, de forma paulatina. Com avanços, entendimentos e adaptações, correções. É negociado – e emerge como resultado inexorável das interações sociais, institucionais e políticas.

Políticas públicas – como conceito tênue de planejamento, veículo de interesses da sociedade – balanceiam, avaliam, contêm visões (predominantemente públicas) que norteiam, dirigem, direcionam o desenvolvimento social ótimo.

Com isso, constitui-se um cenário de incertezas sobre o futuro. Um cenário de complexidade social em que se gestam propostas de políticas no conjunto da sociedade, lideradas pelos gestores. Gestores públicos, que buscam mediar as políticas e sua multiplicidade de efeitos, típicos efeitos de sistemas complexos, no limite máximo que as circunstâncias permitem.

Nesse sentido, o objetivo deste livro é oferecer uma ferramenta adicional de modelagem à sociedade em geral e ao gestor da coisa pública em particular. Não de forma conceitual, abstrata, apenas, mas como ferramenta concreta, disponível, adaptável. De fato, *PolicySpace* é uma plataforma empírica, ajustada para o caso de 333 municípios brasileiros situados nas 46 áreas de concentração de população. Esse conjunto abriga a maior parte da pujança socioeconômica brasileira, mas também os seus maiores desafios.

A ideia central da plataforma *PolicySpace* é permitir a análise de alternativas – muitas alternativas – de implementação de políticas públicas *ex ante*. Ou seja, antecipar, conjunturalmente, efeitos, desdobramentos, resultados futuros de mudanças, no contexto presente. Analisar interações entre porções da sociedade e instituições, no espaço e no tempo. *PolicySpace* é um modelo baseado em agentes, incluindo famílias, cidadãos, residências, empresas, mercados, impostos, mobilidade, municípios, de forma a permitir investigações do tipo “e se”. Trata-se de um laboratório *in silico*, de custo relativo extremamente baixo, porém flexível, customizável, que antecipa trajetórias e, quantitativamente, mensura efeitos horizontais por entre setores, lugares e tempos. O livro apresenta a literatura pertinente, os conceitos, a metodologia. Detalha o modelo, seus parâmetros, o processo. Válida a proposta. Ilustra com aplicações.

Boa leitura e mãos à obra. O futuro não é previsível – mas também não é escuro.



POLICYSPACE

MODELAGEM BASEADA EM AGENTES

Bernardo Alves Furtado



Governo Federal

**Ministério do Planejamento,
Desenvolvimento e Gestão**
Ministro Dyogo Henrique de Oliveira

ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

Fundação pública vinculada ao Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiros – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

Presidente

Ernesto Lozardo

Diretor de Desenvolvimento Institucional

Rogério Boueri Miranda

Diretor de Estudos e Políticas do Estado, das Instituições e da Democracia

Alexandre de Ávila Gomide

Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas

José Ronaldo de Castro Souza Júnior

Diretor de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais

Alexandre Xavier Ywata de Carvalho

Diretor de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação e Infraestrutura

Fabiano Mezadre Pompermayer

Diretora de Estudos e Políticas Sociais

Lenita Maria Turchi

Diretor de Estudos e Relações Econômicas e Políticas Internacionais

Ivan Tiago Machado Oliveira

Assessora-chefe de Imprensa e Comunicação

Regina Alvarez

Ouvidoria: <http://www.ipea.gov.br/ouvidoria>

URL: <http://www.ipea.gov.br>



POLICYSPACE

MODELAGEM BASEADA EM AGENTES

Bernardo Alves Furtado



Rio de Janeiro, 2018

Furtado, Bernardo Alves

PolicySpace : modelagem baseada em agentes / Bernardo Alves

Furtado. – Rio de Janeiro: Ipea, 2018.

125 p. : il., gráfs., maps colors.

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7811-320-9

1. Políticas públicas. 2. Mercado imobiliário. 3. Método de pesquisa.
4. Sistemas complexos. 5. Região metropolitana. 6. Brasil. I. Título.

CDD 003

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério do Planejamento, Desenvolvimento e Gestão.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	7
CAPÍTULO 1 METODOLOGIA	13
CAPÍTULO 2 <i>POLICYSPACE</i> : O MODELO	27
CAPÍTULO 3 VALIDAÇÃO	63
CAPÍTULO 4 APLICAÇÕES E SENSIBILIDADE	83
CAPÍTULO 5 APLICAÇÕES: ANÁLISE FISCAL MUNICIPAL E FEDERALISMO	107
CAPÍTULO 6 MERCADO IMOBILIÁRIO	113
CAPÍTULO 7 RESULTADOS GERAIS: REGIÕES METROPOLITANAS DO BRASIL	119
CAPÍTULO 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	123

INTRODUÇÃO¹

Políticas públicas são resultados de decisões que geram efeitos no tempo e no espaço sobre partes ou sobre o conjunto da sociedade. Esses efeitos temporais, espaciais e setoriais combinados refletem a complexidade intrínseca à formulação, ao monitoramento e à eventual avaliação de políticas públicas.

Imagine qualquer política pública, qualquer uma. Muito provavelmente, os efeitos de implementação dessa política serão diferenciados: *i)* em relação ao espaço – municípios, estados; *ii)* em relação ao tempo – imediatamente, em cinco ou dez anos; *iii)* entre os setores da economia – serviços, indústria; e *iv)* entre porções da sociedade – idosos ou jovens, autônomos, empregados, empregadores, ricos ou pobres. Cada um dos grupos afetados pela política em pauta pode reagir em maior ou menor grau, com mais ou menos intensidade e capacidade, ao longo do tempo.

Desse modo, planejamento, gestão e avaliação de políticas públicas são temas que requerem análise detalhada, baseada em experiências, e que considerem variadas perspectivas. A diversidade, do ponto de vista científico, é considerada na análise de políticas públicas quando inclui múltiplas disciplinas. Ou seja, quando considera contribuições de juristas, economistas, cientistas políticos, urbanistas, filósofos, ambientalistas, opinião pública, representantes, tanto quanto possível, da sociedade e de seus subgrupos componentes.

Nesse sentido, análises de políticas públicas incluem dois pontos em comum com a abordagem de sistemas complexos: agentes e a interação entre eles. Agentes são os cidadãos, os funcionários, as instituições, os grupos sociais que decidem, dirigem, afetam e são afetados pelas políticas; já a interação é o embate dinâmico e espacial entre os agentes, são as ações e reações que previnem, por exemplo, que a aplicação de uma política qualquer seja linearmente implementada, assim como formulada. Há resistências, sugestões, inovações, concordâncias e vetos dos agentes sobre as políticas, de forma interativa.

1. O autor agradece aos pareceristas Fábio Monteiro Vaz e Antônio Glauter Teófilo Rocha, à leitura dos colegas Bruno César Pino Oliveira de Araújo, Dea Guerra Fioravante, Pedro Herculano Ferreira de Souza e Marcelo Medeiros Coelho de Souza, aos comentários de Fabiano Pompermayer e Rafael Henrique Moraes Pereira e a Cayan Atreio Portela Bárcena Saavedra, assistente de pesquisa no Ipea, pela elaboração de gráficos do capítulo 6 deste livro. Erros e omissões são responsabilidade exclusiva do autor.

Dado que interação entre as partes, entre os agentes, é conceito central de sistemas complexos, é razoável supor que as metodologias adequadas à análise de sistemas complexos sirvam também para a análise de políticas públicas. Modelagem baseada em agentes (*agent-based modeling* – ABM) é exatamente isso, uma ferramenta de sistemas complexos que contribui na compreensão da interação social e suas interfaces com as políticas.

De particular interesse é a possibilidade que a modelagem baseada em agentes traz de, com custos relativos muito baixos, proceder a avaliação *ex-ante* de políticas públicas, antes que o esforço de detalhar, implementar e, até, falhar nas políticas ocorra. Usualmente, o que se observa, na prática, são propostas políticas cuja avaliação só é feita, quando feita, depois de passados muitos anos e gastos muitos recursos financeiros, de pessoal, de mobilização da administração pública.

Esse diagnóstico de que as políticas públicas podem se beneficiar de outras metodologias é explorado em alguns livros que buscaram vincular explicitamente a abordagem de sistemas complexos e suas ferramentas de modelagem à “arte”² da política. Colander e Kupers (2014) fazem um primeiro exercício com foco em economia, argumentando essencialmente a inexorabilidade de se adotar conceitos e práticas para além do arcabouço *mainstream* na arena econômica. Na interface entre as outras ciências sociais ressalte-se o esforço de Johnson *et al.* (2017), sintetizado no capítulo de Ormerod (2017). Relevantes são as contribuições de Helbing (2012), ainda no âmbito das ciências sociais e, na perspectiva geográfica, o esforço de Heppenstall *et al.* (2012). Finalmente, Geyer e Cairney (2015) trazem 27 capítulos sobre variados temas no campo da política e sistemas complexos, discutindo desde comércio internacional até educação, crime e governo local.

No intuito de ilustrar a aplicação de ABM para casos reais de políticas públicas, listamos alguns exemplos. ABMs já foram aplicados na análise de efeitos de preços no mercado de energia ao se modificar a interação de clientes com distribuidores, especificamente, se há efeitos socialmente benéficos para o caso de precificação em tempo real (Kuhnlenz *et al.*, 2017). Em transportes, modelos de atividades permitem a geração de demanda e análise da mobilidade, com alto nível de detalhes (Erath, Löchl e Axhausen, 2009; Horni, Nagel e Axhausen, 2016).

Outro estudo associa para um estudo de caso em Leeds, Reino Unido: probabilidade de incidência de assaltos a residências a partir de intervenções de renovação urbana (Malleon, 2012). Finalmente, também a dinâmica de influência partidária e posições políticas (Laver e Sergenti, 2012) pode ser considerada como exemplo de políticas públicas analisadas por meio de ABMs.

2. Mais de um autor refere-se à prática política como “arte” no intuito de distinguir a política das práticas “científicas”.

Os trabalhos citados trazem coletâneas de estudos que, de alguma forma, discutem de um lado a política e, de outro, como o arcabouço de modelagem em geral e modelos baseados em agentes, em particular, podem contribuir com a antecipação de efeitos da intervenção política na sociedade.

Este livro contribui na disponibilização da plataforma de modelagem baseada em agentes, modular, validada, operacional e já ajustada para a análise empírica de políticas públicas para o caso brasileiro.^{3,4} Com isso, a contribuição se explicita como plataforma de simulação espacial, contendo dados empíricos de municípios e regiões metropolitanas brasileiras que permitem alto nível de interatividade entre o modelo e o modelador. De fato, o usuário pode alterar qualquer um dos parâmetros do *PolicySpace*, escolher regiões modeladas de interesse e alterar mercados ou procedimentos e regras de acordo com sua necessidade de pesquisa. Automaticamente, o *PolicySpace* disponibilizado gera a gravação de dados de saída em formato texto (sete arquivos), bem como 23 gráficos e sete figuras que descrevem as trajetórias das Áreas de Concentração de População (ACPs), dos seus municípios de forma individualizada, de vários indicadores gerais e regionalizados, dos cidadãos, das firmas, das residências.

Essas alternativas de adequação do modelo ao objeto de pesquisa do modelador permitem ainda testar alíquotas para os impostos, observar impactos de alterações dos parâmetros de produtividade das firmas ou avaliar a evolução da qualidade de vida dos municípios em cada um dos cenários construídos.

Adicionalmente, o livro traz revisão da literatura e conceituação da metodologia, além de descrever indícios referentes ao comportamento dos municípios em relação a possíveis alterações de formas de distribuição de impostos. Nesse contexto, seu objetivo é apresentar, detalhar, validar e demonstrar aplicações da plataforma de modelagem baseada em agentes proposta – o *PolicySpace* – que permite iniciar processos de avaliação de políticas públicas *ex ante*.

O livro apresenta um modelo baseado em agentes operacional e modular, que se apoia na literatura precedente; está justificado, verificado e validado. Além disso, são apresentados resultados de aplicações selecionadas, tais como: *i*) a propensão a consumir e à produtividade em variáveis macroeconômicas; *ii*) a análise de discriminação da firma por local de residência dos empregados; e *iii*) a forma de arrecadação e distribuição de recursos fiscais para municípios em regiões metropolitanas. Finalmente, resultados empíricos para várias regiões metropolitanas do país são expostos, e múltiplas possibilidades de expansão e adaptação do *PolicySpace* são detalhadas.

3. Embora implementado para o caso brasileiro, alterações simples na entrada de dados (e, porventura, nos mecanismos de impostos, por exemplo) podem ser adaptadas para a análise de outros países.

4. O código aberto do *PolicySpace* está disponível em: <github.com/BAFurtado/PolicySpace>.

Especificamente, o modelo investiga alternativas de configurações da distribuição de impostos entre os municípios de uma dada ACP, conforme definida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015, p. 19).

Os resultados iniciais reforçam a validade e a relevância do Fundo de Participação Municipal (FPM) para melhor equalização dos recursos arrecadados no âmbito metropolitano. Adicionalmente, há ganho marginal no exercício no qual a distribuição dos recursos se dá como se os municípios fossem um só. Ressalte-se que esse ganho é exclusivamente analítico e não considera a redução dos custos e o aumento da eficiência para o caso de uma administração única.

Ademais, como resultado das simulações no *PolicySpace*, apresenta-se uma análise do mercado imobiliário. Fica patente a intensificação de toda a economia, quando o mercado imobiliário é mais dinâmico. Os indicativos sugerem redução da desigualdade, aumento da produção geral e dos lucros e capital das firmas com maior consumo das famílias, embora com redução dos níveis de poupança.

Além desta introdução, o capítulo 1 conceitua ABMs, a concepção dos agentes e sua interação com o ambiente. Apresenta ainda os argumentos favoráveis à utilização da metodologia, ressaltando sua adaptabilidade e flexibilidade, pontuando também algumas críticas e suas respostas.

O capítulo 2 especifica o *PolicySpace*, seguindo o protocolo ODD (*Overview, Design Concepts and Details*), recomendado pela literatura da área. Com isso, estabelece o propósito específico do *PolicySpace*, qual seja, o de oferecer plataforma de modelagem empiricamente adequada ao estudo das metrópoles brasileiras, com ênfase nas questões espaciais e tributárias associadas. Em seguida, detalha o desenho inicial dos agentes e dos dados, apresenta os processos, os métodos pelos quais os agentes são atualizados discretamente no tempo e no espaço. Finalmente, os algoritmos mais relevantes são detalhados na seção de submódulos de modo a formar no conjunto entendimento detalhado da proposta do *PolicySpace* que, por exemplo, permita sua replicação. Ao fim do capítulo, almeja-se que o leitor obtenha a compreensão completa do modelo.

O capítulo 3 apresenta a validação do *PolicySpace*, o rebate dos dados simulados e dos dados reais, e a discussão sobre as possibilidades e o escopo de compreensão do conjunto. Descreve a intuição dos conceitos de validação e sensibilidade e procede à primeira propriamente dita em três etapas: *i*) inicialmente, ilustra comportamentos macroeconômicos com resultados que se mantêm próximos a valores observados; *ii*) demonstra que a evolução do comportamento dos impostos utilizados no *PolicySpace* mantém-se em valores e distribuição compatíveis com a literatura e aqueles descritos oficialmente; e *iii*) testa comportamentos dos parâmetros e das regras confirmando a robustez do modelo.

O capítulo 4 expande a análise de sensibilidade buscando maior entendimento das possibilidades do *PolicySpace* e as primeiras aplicações possíveis. Dessa forma, testa parâmetros de produtividade, propensão a consumir, mercado de trabalho e ajuste de preços das firmas. Adicionalmente, testa parâmetros gerais da simulação referentes a cada uma das ACPs, tais como tamanho médio da família, amostra percentual da população no modelo e vacância residencial.

Os capítulos 5 e 6 discutem explicitamente duas aplicações centrais na montagem do *PolicySpace*: a análise fiscal municipal no âmbito metropolitano e o mercado imobiliário. O capítulo 7 ilustra resultados da simulação para outras ACPs brasileiras. O capítulo 8 conclui o livro com o resumo das contribuições e possibilidades de expansão da plataforma apresentada.

Com isso, tem-se a metodologia, o detalhamento pormenorizado do *PolicySpace* (capítulos 1 e 2) e que são validados e garantidos em relação a sua robustez nos capítulos 3 e 4. Os capítulos 5, 6 e 7 por sua vez apontam para algumas aplicações, e o capítulo 8, para além da conclusão, indica caminhos para a expansão da proposta.

Finalmente, vale mencionar que *PolicySpace* – ainda que explicitamente espacial e sobre políticas públicas – é um tributo ao *SugarScape*, modelo seminal desenvolvido também em forma de livro, por Epstein e Axtell (1996). Esses autores conseguiram sistematizar (há mais de vinte anos) a possibilidade de análise de vários temas das ciências sociais por meio da modelagem baseada em agentes, de forma relativamente simples e acessível.

REFERÊNCIAS

- COLANDER, D.; KUPERS, R. **Complexity and the art of public policy**: solving society's problems from the bottom up. Princeton: Princeton University Press, 2014.
- EPSTEIN, J. M.; AXTELL, R. **Growing artificial societies**: social science from the bottom up. Washington: Brookings Institution Press; Cambridge: MIT Press, 1996.
- ERATH, A.; LÖCHL, M.; AXHAUSEN, K. W. Graph-theoretical analysis of the Swiss road and railway networks over time. **Networks and Spatial Economics**, v. 9, n. 3, p. 379-400, 2009.
- GEYER, R.; CAIRNEY, P. **Handbook on complexity and public policy**. [s.l.]: Edward Elgar Publishing, 2015.
- HELBING, D. **Social self-organization**: agent-based simulations and experiments to study emergent social behavior. New York: Springer, 2012.
- HEPPENSTALL, A. J. *et al.* **Agent-based models of geographical systems**. New York: Springer, 2012. p. 746.

HORNI, A.; NAGEL, K.; AXHAUSEN, K. **The multi-agent transport simulation MATSim**. London: Ubiquity Press, 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Arranjos populacionais e concentrações urbanas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

JOHNSON, J. *et al.* **Non-equilibrium social science and policy**. New York: Springer, 2017.

KUHNLENZ, F. *et al.* **Implementing flexible demand: real-time price vs. market integration** T. [s.l.]: [s.n.], 2017. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1709.02667>>. Acesso em: 18 dez. 2017.

LAVIER, M.; SERGENTI, E. **Party competition: an agent-based model**. Princeton: Princeton University Press, 2012.

MALLESON, N. Using agent-based models to simulate crime. *In*: HEPPENSTALL, A. *et al.* **Agent-based models of geographical systems**. New York: Springer, 2012. p. 411-432.

ORMEROD, P. Economics. *In*: JOHNSON, J. *et al.* (Ed.). **Non-equilibrium social science and policy**. [s.l.]: Springer International Publishing, 2017. p. 19-44.

METODOLOGIA

Antes de conceituar modelagem baseada em agentes especificamente, vale ressaltar a noção de modelo, em geral. Neste livro, seguindo Magnani e Bertolotti (2017), trabalha-se com o conceito como ferramenta que contribui com o entendimento do objeto modelado, o “alvo” do estudo, e assim nos permite fazer inferências sobre este alvo. Outra noção relevante é a de que “modelos diferentes otimizam o entendimento de aspectos diferentes do alvo” (Magnani e Bertolotti, 2017, p. 15). O modelo, nessa concepção, é apenas um artefato, um instrumento, que auxilia na compreensão do fenômeno, que é o objetivo principal.

Nesse sentido, e em sintonia com Johnson *et al.* (2017) e Page (2010), a análise da política pública por meio de modelagem baseada em agentes é complementar aos estudos de outras disciplinas das ciências sociais e da economia, e se beneficia da noção de que múltiplos modelos “iluminam”, por assim dizer, diversos aspectos da realidade e, por conseguinte, da política pública.

1 MODELAGEM BASEADA EM AGENTES (*AGENT-BASED MODELING – ABM*)

Modelagem baseada em agentes ou, simplesmente, ABM é uma implementação computacional de um ambiente artificial que contém agentes que interagem no tempo e no espaço. Exatamente isso.

Claro, de modo formal, Epstein e Axtell (1996) caracterizam o ABM¹ como um sistema dinâmico temporalmente discreto, descrito pelas equações genéricas simultâneas:²

$$\begin{aligned} \text{Agentes}_{t+1} &= f(\text{Agentes}_t, \text{Ambiente}_t) \\ \text{Ambiente}_{t+1} &= g(\text{Agentes}_t, \text{Ambiente}_t) \end{aligned} \quad (1)$$

1. A sigla ABM pode referir-se à modelagem baseada em agentes, a prática de fazer a modelagem, mas também é comumente utilizada para referir-se a um modelo, neste caso, o ABM, modelo baseado em agentes. Por consistência, utilizaremos a expressão masculina, o modelo, ainda que, às vezes, referindo-se de forma genérica à modelagem como um todo. Da mesma forma, pode-se utilizar os ABMs para referir-se aos modelos.

2. Outra formulação equivalente está disponível em Batty (2012, p. 40).

De outro modo, portanto, ABMs podem ser descritos como a evolução discreta no tempo e no espaço de agentes e ambientes por meio de regras embutidas nas funções de transformação $f(\cdot)$ e $g(\cdot)$.

Note-se que mesmo essa formalização simples implica que agentes e ambientes interajam, a cada tempo t , de modo que o momento seguinte $t + 1$ é função dos agentes e ambiente no tempo anterior. Intuitivamente, modelagem computacional em geral e ABM em particular significam aplicar uma dada regra conhecida, descrita formalmente, a um conjunto de dados de entrada que são “animados” para se obter resultados (Galán *et al.*, 2009).

A notação da equação (1) nos permite capturar as *interações* entre agentes, a evolução dessa interação entre agentes e ambiente, ou simplesmente as transformações dos agentes e do ambiente.

Os *agentes* podem ser fixos, móveis, transformar-se por meio de funções autônomas ou vinculadas a outros agentes ou a aspectos quaisquer do ambiente, sejam propriedades intrínsecas ou relacionais, as quais podem implicar condicionalidades de proximidade ou estruturais, tais como redes de conexões, amizade ou pertencimento, por exemplo.

Vale notar que a construção de um modelo baseado em agentes, com ênfase nas interações, permite infinitas possibilidades. Imagine o seguinte exemplo: dado que no tempo t , localizado em s , os agentes específicos x_i e x_j possuem métodos próprios de ação, os resultados da interação entre eles podem ser distintos para os mesmos agentes x_i e x_j quando se encontrem em $t + 1$ ou em $s + 1$. Ou quando há presença de um terceiro agente x_k . Ou ainda, caso s estivesse caracterizado em t com alguma outra propriedade adicional, p .

No intuito de aprofundar o entendimento de ABM, apresentamos a seguir outras definições alternativas. Bilge define ABM em termos similares à proposta deste livro:

a abordagem ABM é uma técnica de modelagem do tipo “de baixo para cima” que pode gerar resultados inesperados, chamados de comportamento “emergente”. ABM são adequados para problemas reais nos quais há grande número de agentes autônomos, heterogêneos que interagem entre si. Frequentemente, o desenvolvimento de uma Simulação Baseada em Agentes (ABS) é, em si mesma, útil e educacional, na qual o produto final não necessariamente é capaz de prever o futuro, mas se apresenta como um laboratório virtual onde ideias podem ser experimentadas e testadas em cenários da vida real, em um ambiente seguro (Bilge, 2015, p. 417, tradução nossa).³

3. “The ABM approach is a ‘bottom-up’ modelling technique, sometimes resulting in unexpected, so-called ‘emergent’ behaviour. ABM is suitable for real world problems where there are a number of autonomous, heterogeneous and interacting agents. Often the development of an Agent Based Simulation (ABS) is in itself useful and educational where the end product does not necessarily predict the future, but is a virtual laboratory to experiment with ideas, and to test possible real-life scenarios in a safe environment”.

De forma mais simples, Hamill e Gilbert (2016, p. 4, tradução nossa) propõem:

[ABM] é um programa de computador que cria um mundo artificial, com agentes heterogêneos, que nos permite investigar como a interação entre esses agentes e entre esses agentes e outros fatores, tais como espaço e tempo, atuam em conjunto para configurar o mundo real.⁴

Nessa mesma linha, Abdou, Hamill e Gilbert (2012, p. 141, tradução nossa) definem ABM como “método computacional que permite aos pesquisadores criar, analisar e experimentar com modelos compostos por agentes que interagem em um ambiente”.⁵

ABMs também são referidos como modelagem multiagentes na ciência da computação e, especialmente, no contexto da chamada Economia Computacional Baseada em Agentes (ACE), cuja melhor referência é o compreensivo *site* mantido por Leigh Tesfatsion.⁶

Finalmente, Wilensky e Rand (2015) advogam que ABMs são especialmente adequados para estudos de fenômenos não determinísticos, ou cujos mecanismos são distribuídos sem um controle central efetivo.

No contexto de ABM, os agentes apresentam vários atributos. São heterogêneos e autônomos, interagindo localmente no espaço, espaço este que é usualmente explícito. Atuam a partir de regras (usualmente) simples e informações locais, de modo que não são (necessariamente) otimizadores globais (Epstein, 2006). Hamill e Gilbert (2016) preferem qualificar os agentes como perceptivos, ou seja, que se utilizam de sensores para perceber outros agentes, o ambiente, sua *performance*. Com isso, conseguem se comunicar, seguir instruções, tomar decisões e lembrar-se de decisões passadas.

Crooks e Heppenstall (2012) acrescentam a esses atributos a noção de agentes, que de forma proativa atuam em direção a determinados objetivos. Assim, além de agirem, reagem, adaptam-se e aprendem, modificam-se no tempo e no espaço.

Como evidenciado pela forma genérica de implementação de ABM (equação 1), os métodos são flexíveis e permitem analisar variada gama de fenômenos e objetos de pesquisa. Na verdade, essa flexibilidade e permissividade metodológicas contribuem para que o campo de aplicações de ABM ainda esteja muito aberto e carente de protocolos e *benchmarking* que possam garantir à comunidade científica maior

4. "A computer program that creates an artificial world of heterogeneous agents and enables investigation into how interactions between these agents, and between agents and other factors such as time and space, add up to form the patterns seen in the real world".

5. "Agent-based modelling is a computational method that enables a researcher to create, analyze, and experiment with models composed of agents that interact within an environment".

6. Disponível em: <<http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm>>.

clareza nos avanços e contribuições feitos (Crooks e Heppenstall, 2012; Davidsson, Verhagen e Klügl, 2017).

Uma primeira padronização que vem ganhando adeptos é a proposta de Grimm *et al.* (2006; 2010).⁷ Denominado ODD (*Overview* – visão geral, *Design concepts* – desenho conceitual e *Details* – detalhes), o protocolo padroniza a descrição do modelo proposto, bem como seus estados iniciais, pressupostos, limitações e características, incluindo a sugestão de que o autor disponibilize o código-fonte e as bases de dados, de modo que o leitor ou usuário possa replicar o exercício feito. O algoritmo computacional do *PolicySpace* está disponível como repositório do GitHub em: <GitHub.com/BAFurtado/PolicySpace>.

De fato, o manual *Modelagem Baseada em Agentes em Economia*⁸ (Hamill e Gilbert, 2016), por exemplo, disponibiliza todo o código dos vinte modelos desenvolvidos ao longo do livro na internet.⁹ Isso garante sua replicabilidade, bem como a ausência de *black box*. Ou seja, investido o esforço necessário, é possível verificar e testar toda a proposta apresentada.

1.1 Vantagens da modelagem e críticas

No intuito de ferramenta metodológica complementar, o ABM se mostra relevante quando o fenômeno em estudo se distingue por três atributos centrais: *heterogeneidade, dinâmica e interações* (Hamill e Gilbert, 2016). Heterogeneidade, como atributo do fenômeno, significa que olhar para medidas agregadas, somatório de partes individuais simplesmente, não é suficiente para compreender o objeto (Anderson, 1972).

O atributo de dinâmica, por sua vez, é relevante quando a comparação estática não é suficiente para compreensão adequada do fenômeno. Note que a dinâmica, ou a reação de outros agentes no tempo, é especialmente relevante para o caso das políticas públicas, nas quais agentes (cidadãos, instituições) reagem ativamente ao novo contexto de dada proposta política. Essa dinâmica também pode ser relevante do ponto de vista espacial. Se a localização distinta (em $t + 1$) transforma o agente de modo que sua reação ou comportamento também é diferente, então, ABMs podem contribuir com uma melhor compreensão do problema.

A interação fica caracterizada quando: *i*) há influência, redes, contágio entre agentes; *ii*) decisões se modificam a partir de decisões de vizinhos; *iii*) há processos de imitação ou cópia; e *iv*) o agente age de modo distinto daquele imaginado anteriormente.

7. Ver, ainda, Grimm e Railsback (2012).

8. *Agent-based modelling in Economics*.

9. Disponível em: <<http://cress.soc.surrey.ac.uk/web/publications/books/agent-based-modelling-economics/more-information>>.

Fundamentalmente, em pesquisas nas quais os objetos de estudos compõem-se por elementos nos quais a heterogeneidade, a dinâmica e a interação entre as partes são centrais, então, o ABM como metodologia pode contribuir sobremaneira.

Outra contribuição fundamental de ABM, derivada da análise de elementos heterogêneos que interagem de forma dinâmica e condizente com a abordagem de sistemas complexos, é que não se pode esperar linearidade dos resultados das políticas. Dado que os agentes reagem, aprendem, adaptam-se e sofrem influências dos seus vizinhos e da própria mudança que ocorre no contexto e na conjuntura (Edmonds, 2017), os efeitos da política pública não são conhecidos *a priori*. De fato, Geyer e Cairney (2015) ilustraram que análises de políticas públicas revelaram que em várias intervenções as relações de causa e efeito não estavam claras.

Essa inabilidade de se prever os desdobramentos decorrentes da ação pública (ou privada), mesmo com conhecimento completo do comportamento do sistema e dos agentes (Squazzoni, 2014), implica a incapacidade de se controlar o processo. Mais ainda, implica que a mensuração dos resultados das políticas, ou seja, o efetivo cumprimento de metas de programas e políticas está comprometido na largada (Mueller, 2015).

A meta pressupõe a capacidade de controlar o processo, o que é falso. Estabelecer metas para políticas públicas ignora que os agentes são reagentes, apresentam comportamentos emergentes e sofrem influências do ambiente, do espaço e do tempo. Metas efetivas, para funcionar, deveriam ser construídas ao longo do desenvolvimento do processo de implementação da política, com série de ajustes marginais, sutis, no fundo, adaptativos.

Os ABMs tampouco conseguem “prever” efeitos e resultados de políticas públicas. Entretanto, sua característica central de “programa de computador artificial” permite simular alternativas, ajustes marginais, alterações de parâmetros, regras, reações, interações. De forma barata, relativamente simples e ágil, os cenários podem ser testados (Furtado, Sakowski e Tóvolli, 2015). Com isso, *insights* dos efeitos das políticas podem ser obtidos *in silico* antes da execução da política propriamente dita.

Finalmente, Epstein (2006, p. 1602) rejeita três críticas centrais a ABM:

em relação à crítica central que modelos baseados em agentes são não matemáticos, não dedutivos e *ad hoc*, as duas primeiras alegações são falsas, e a terceira, eu argumento, não é importante. Explicação generativa¹⁰ é matemática em princípio [dado o padrão determinístico dos computadores]; funções recursivas poderiam ser providenciadas. *Ipsa facto*, explicação generativa é dedutiva. Concordamos, modelos baseados em agentes são tipicamente aplicados a pequenos grupos quando comparados com modelos de

10. Para uma discussão da proposta de “explicação generativa”, ver a subseção 1.2.

escolha racional e são, assim, menos gerais. Entretanto, em muitos casos, são mais responsivos aos dados observados.¹¹

Já Crooks e Heppenstall (2012) apresentam alguns aspectos contrastantes entre o ABM e o que chamam de modelos tradicionais (MTs). ABMs oferecem múltiplos futuros, às vezes associados a probabilidades, enquanto MTs preveem um futuro, ou melhor, uma trajetória. De acordo com Crooks e Heppenstall (2012), ABMs enfatizam os mecanismos utilizados para alcançar os resultados (que podem ser não únicos, ou seja, trajetórias corretas por acaso), e MTs não oferecem explicações, apenas resultados e correlações.

Os ABMs se utilizam de muitos parâmetros, enquanto MTs se utilizam de alguns. ABMs tratam o espaço (e o tempo) de forma explícita, já os MTs usualmente não incluem o espaço, ou o fazem de maneira reduzida. Enquanto em ABMs o ambiente é construído (endogenamente), MTs apresentam um ambiente dado, exógeno. E, finalmente, ainda de acordo com os citados autores, em ABMs se aprende com a pesquisa, enquanto em MTs o pesquisador apenas reage aos resultados.

Boero *et al.* (2015) acrescentam alguns outros atributos a ABM, para além da interação, da dinâmica e da heterogeneidade. Dada a possibilidade de se escolher o grau de realismo de cada modelo, de acordo com a disponibilidade de dados e conhecimento sobre o objeto, ABMs são mais adequados para identificar e testar a causalidade de fenômenos.

Outra vantagem apontada pelos mesmos autores (Boero *et al.*, 2015) é a possibilidade de explorar “escalabilidade”, modularidade e interdisciplinaridade. De fato, dada a flexibilidade metodológica própria de ABM, é possível escalar a complexidade dos modelos que se constrói. Ao mesmo tempo, é possível adicionar módulos paulatinamente à proposta principal, mantendo-se a consistência e a coerência do restante.¹²

Finalmente, Boero *et al.* (2015) reforçam o aspecto do ABM como ferramenta de comunicação que permite a interação entre profissionais de áreas distintas (Furtado, Sakowski e Tóvolli, 2015), graças a sua fácil visualização. O crescimento da relevância e utilização de ABM nas várias áreas da ciência já está bem descrito em Niazi e Hussain (2011).

11. “As to the core indictment that agent models are non-mathematical, non-deductive, and ad hoc, the first two are false, and the third, I argue, is unimportant. Generative explanation is mathematical in principle; recursive functions could be provided. *Ipsa facto*, generative explanation is deductive. Granted, agent models typically quantify over smaller sets than rational choice models and, as such, are less general. But, in many cases, they are more responsive to data”.

12. O PolicySpace é desenvolvido exatamente assim. Um modelo econômico-espacial central que pode ser desenvolvido modularmente, acrescentando-se elementos de demografia, detalhamento fiscal e mobilidade gradativamente.

Em resumo, pode-se dizer com alguma facilidade que ABMs claramente trazem uma perspectiva nova que, em tese, pode contribuir para iluminar mais facetas do fenômeno que se estuda e agregar a sua compreensão.

1.2 ABMs como ferramenta metodológica

Terna (2015) sugere, apoiado no trabalho original de Ostrom (1988), que simulação computacional, tal como ABM, seria uma terceira forma de se fazer ciência. A simulação computacional agrega – não necessariamente competindo, mas talvez de forma complementar – ao arcabouço de ferramentas padrões tradicionais, quais sejam: *i*) a argumentação verbal, o discurso; e *ii*) a quantificação matemática por meio de equações, estatísticas e econometria, por exemplo. Constituir-se-ia assim, em uma terceira metodologia geral: a algorítmica.

Essa noção de ABM como ferramenta metodológica singular é mais antiga e remonta à tentativa de Epstein de cunhar o termo “Ciência Generativa” (Epstein, 1999; 2006). Epstein argumenta que não basta demonstrar um padrão (observado), mas demonstrar como foi possível que se chegasse a dado padrão, entender os mecanismos subjacentes. Basicamente, o cientista tem que ser capaz de identificar quais foram as regras, atitudes, tomadas de decisão de quais indivíduos ou instituições que, em conjunto, no tempo e no espaço, levaram a determinado padrão que se observa.

Para explicar um padrão, tem-se que demonstrar como uma população de agentes plausíveis, interagindo de acordo com regras plausíveis, alcançou dado padrão dentro de uma escala de tempo razoável. O lema, de forma breve, é [Epstein, 1999]: se você não “gerou”¹³ isso, você não explicou isso (Epstein, 2006, p. 1587).

Finalmente, de forma contemporânea, Nicolescu (1999) lembra que as ciências humanas, entre elas a política e a economia, não seguem alguns princípios fundamentais observados nas ciências exatas, tais como a existência de leis gerais, imutáveis. Pelo contrário, nas ciências humanas (assim como na política) não é possível realizar “experimentos”, embora qualquer política cujos efeitos não foram analisados, estimados, quantificados *ex ante* não passa de experimento irresponsável.

Além disso, fenômenos sociais observam “(...) discontinuidades, saltos e rupturas; [ocorrem em] eventos únicos, discretos (...) [e se caracterizam por] incertezas” (Furtado, Sakowski e Tóvolli, 2015, p. 27). Todos esses fenômenos podem ser incorporados e testados em um ambiente de ABM.

O ABM pode ser diferenciado de algumas abordagens que, embora próximas, são marcadamente diferentes. Microssimulação (MS), por exemplo, refere-se à aplicação de regras de modo a simular os efeitos resultantes (Gilbert e Troitzsch, 2005). Esse caso

13. Compreendeu e replicou os mecanismos.

pode ser aplicado considerando-se somente a primeira das equações da equação (1). Essa abordagem é útil, por exemplo, para simular os efeitos de uma mudança nas alíquotas de impostos. Note, entretanto, que MS não permite a interação ou a heterogeneidade (Hamill e Gilbert, 2016), ou seja, dado um grupo de consumidores e um determinado comportamento, uma mudança de alíquota, *ceteris paribus*, leva a tal comportamento de demanda. Entretanto, não há a análise desagregada de como a oferta se comportará.

Crooks e Heppenstall (2012) reforçam as diferenças entre MS e ABM e alegam que MS modela em apenas uma direção e consegue mensurar somente os efeitos das políticas nos cidadãos, mas não sua contrapartida, qual seja, os efeitos dos cidadãos entre si e nas políticas.

De fato, Fujita, Krugman e Venables (1999) apresentam um exercício no qual estimam os efeitos de aglomeração e desaglomeração. Nesse caso, a solução analítica torna-se muito complicada, e é necessário simular resultados numéricos. A análise, todavia, ocorre em apenas uma direção, e não há interação dinâmica entre os agentes componentes do sistema. Dadas as equações e os parâmetros, calculam-se (iterada e numericamente) os resultados.

Devido a essa distinção entre MS e ABM, Birkin e Wu (2012) argumentam que a MS estuda a estrutura, enquanto os ABMs são mais adequados para estudar comportamentos. Ainda que feitas as distinções, os autores ressaltam que MS e ABM podem ser utilizados de forma conjunta.

Outra abordagem com bastante força na literatura, de fácil implementação e que incorpora as noções de “pensamento sistêmico” e *feedback*, são os sistemas dinâmicos (SDs). Edmonds e Gershenson (2015, p. 212) assim os definem:

SD é uma abordagem à modelagem que representa um Sistema em termos de um conjunto de *feedback loops* conectados (Forrester, 1971).¹⁴ SD modela esses *loops* como uma série de fluxos entre estoques, além de conexões adicionais entre variáveis e fluxos. Crucialmente, SD permite a representação de atrasos temporais desses *feedbacks* e o controle da taxa de variação desses fluxos. Esses fluxos são então simulados no computador e (mais recentemente) visualizados. As vantagens são que *feedbacks* complexos podem ser explorados, o que pode levar a melhor compreensão do fenômeno.¹⁵

14. Ver Forrester (1971).

15. “SD is an approach to modelling that represents a system in terms of a set of interconnected feedback loops (Forrester, 1971). It models these in terms of a series of flows between stocks plus additional connections between variables and flows. Crucially, it allows the representation of delays in such feedback and that the outcomes of some variables can control/affect the rate of other flows. These flows and relationships can then be simulated on a computer and (more recently) visualized. Its advantages are that a complex set of feedback relationships can be explored and hence better understood”.

Os autores ressaltam, entretanto, que as variáveis (os estoques) representam entidades abstratas. Contrário ao ABM, o SD não permite a heterogeneidade interna a cada estoque simulado. Incorpora o *feedback* e a dinamicidade, porém, trata cada etapa do modelo como um elemento único que se transforma em taxas variáveis. Batty (2012) acrescenta que SD também não incorpora a influência espacial do problema estudado.

Finalmente, a distinção entre modelos baseados em equações (EBMs) e modelos baseados em simulação (ABMs) tem uma contribuição seminal em Parunak, Savit e Riolo (1998), expandida por Sukumar e Nutaro (2012) e Cecconi e Campenni (2010). Entretanto, essa distinção não é clara. A explicação de que ABMs são resolvidos numericamente, de forma recorrente, também é válida para modelos de equilíbrio geral (DSGE) ou em modelos da Nova Geografia Econômica (Fujita, Krugman e Venables, 1999).

Nesse sentido, a distinção fundamental entre EBM e ABM parece ser a seguinte: são modelos cuja comunicação é feita exclusivamente por meio de equações (EBM) ou por meio de linguagem algorítmica (ABM) (Gräbner *et al.*, 2017).

Por fim, vale comentar distinções fundamentais entre modelos DSGE e ABM. Modelos DSGE estão baseados na teoria predominante na seara econômica contemporânea, a chamada Nova Síntese Neoclássica (NSN). Os pressupostos centrais são o equilíbrio, a racionalidade, a maximização e o agente representativo. Em contrapartida, ABMs¹⁶ consideram a economia como um “sistema complexo em evolução, *i.e.*, como um sistema ecológico habitado por agentes heterogêneos, cujas interações longe do equilíbrio continuamente modificam a estrutura do sistema” (Fagiolo e Roventini, 2017, p. 1).¹⁷

Em especial, a crise de 2009 gerou uma série de críticas à NSN e sua incapacidade de prever ou compreender crises, fato recorrente na economia capitalista (Battiston *et al.*, 2016; Dosi *et al.*, 2012; Farmer e Foley, 2009), a despeito da adição de novos “epiciclos” que buscam “ajeitar” modelos falhos (Fagiolo e Roventini, 2017).

Fagiolo e Roventini (2017) listam três críticas principais aos modelos DSGE. As críticas teóricas sugerem que, uma vez que modelos DSGE estão baseados em modelos de equilíbrio geral, seguindo os paradigmas de Arrow-Debreu, eles estão sujeitos às mesmas críticas desses modelos. Segundo Fagiolo e Roventini (2017), não é possível provar a unicidade e a estabilidade do equilíbrio, o que requereria quantidade de informação infinita. A solução para essa questão é a utilização dos

16. ABMs também são criticados pela dificuldade de validação empírica, parametrização e calibração excessivas, e a falta de comparabilidade entre modelos.

17. “A complex evolving system, *i.e.* as an ecology populated by heterogeneous agents, whose far-from-equilibrium interactions continuously change the structure of the system”.

agentes representativos, já que eles tomam a agregação da racionalidade no nível macro (ou seja, a maximização agregada) como algo dado, embora isso não seja necessariamente verdadeiro. Em especial, a utilização de agentes representativos é difícil na aplicação de políticas públicas, dadas as reações distintas de cada grupo de interesse.¹⁸ Fagiolo e Roventini (2017) citam ainda críticas empíricas, que envolvem o processo computacional de resolução do modelo, os problemas de identificação, a estimação e a avaliação. Finalmente, os pressupostos de expectativas racionais dos agentes, de compreensão completa da economia, resolução complexa e infalível de problemas e acesso irrestrito a todas as informações parecem “olímpicos” (Fagiolo e Roventini, 2017).

Os ABMs, por sua vez, baseiam-se na literatura da chamada Macroeconomia Pós-Walrasiana (Colander e Kupers, 2014) e evolucionária (Nelson e Winter, 1982). A ênfase, nesse caso, é na construção de modelos empiricamente baseados, fundamentados em evidências e experiências observadas. Nesse sentido, o conjunto de informações disponíveis e os processos de tomada de decisão dos agentes são mais próximos da realidade.

Conforme já citado, há inúmeros manuais específicos e recentes sobre modelagem baseada em agentes (Wilensky e Rand, 2015), com ênfase na economia (Boero *et al.*, 2015; Hamill e Gilbert, 2016), nas ciências sociais (Edmonds e Meyer, 2013; Helbing, 2012), na geografia (Heppenstall *et al.*, 2012), na análise espacial (Batty, 2012) ou na política (Geyer e Cairney, 2015), com capítulos que detalham teoria, métodos e aplicações.

Inúmeras instituições no mundo se utilizam de ABM, ou, de forma mais genérica, da abordagem de sistemas complexos,¹⁹ que inclui várias outras metodologias. Notadamente, aplicam ABM: *i*) o Bank of England (Baptista *et al.*, 2016); *ii*) a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD) (OECD, 2009); *iii*) a Defense Advanced Research Projects Agency (Darpa);²⁰ *iv*) o The Mitre Corporation (Mitre) americano; e *v*) a União Europeia. Centros de excelência incluem o Santa Fe Institute, a Universidade de Michigan e a George Mason University, além do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (Massachusetts Institute of Technology – MIT) e o New England Complex Systems Institute (Necsi).

Em termos de *softwares* disponíveis para ABM especificamente, uma revisão recente (Abar *et al.*, 2017) listou mais de oitenta programas de computador que podem ser utilizados. Entre os mais conhecidos, destacam-se: *i*) Netlogo, de fácil aprendizagem; *ii*) Mason, RePast e Swarm, em Java; *iii*) Gama, para análise espacial

18. Ver outras críticas em Fagiolo e Roventini (2017).

19. Disponível em: <<https://www.complexityexplorer.org/explore/resources>>.

20. Disponível em: <<https://www.darpa.mil/news-events/2017-04-07>>.

detalhada; *iv*) anyLogic, comercial; *v*) Urbansim, para análise de transportes e uso do solo; e *vi*) Matsim, para estudos detalhados, *real-time*, em transportes, além, é claro, de linguagens de programação genéricas, tais como Python, Java, C, R e Matlab, para citar algumas.

Todos esses recursos, em forma de estudos, instituições e *software*, apenas para demonstrar que o tema está em franca expansão e utilização nas economias avançadas, embora ainda com pouco uso no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ABAR, S. *et al.* Agent based modelling and simulation tools: a review of the state-of-art software. **Computer Science Review**, v. 24, p. 13-33, 1 May 2017.
- ABDOU, M.; HAMILL, L.; GILBERT, N. Designing and building an agent-based model. *In*: HEPPENSTALL, A. *et al.* (Ed.). **Agent-based models of geographical systems**. London: Springer, 2012. p. 141-165.
- ANDERSON, P. W. More is different. **Science**, v. 177, n. 4047, p. 393-396, 8 Apr. 1972.
- BAPTISTA, R. *et al.* Macroprudential policy in an agent-based model of the UK housing market. **Working Paper Bank of England**, v. 619, 2016.
- BATTISTON, S. *et al.* Complexity theory and financial regulation. **Science**, v. 351, n. 6275, p. 818-819, 19 Feb. 2016.
- BATTY, M. A generic framework for computational spatial modelling. *In*: HEPPENSTALL, A. *et al.* (Ed.). **Agent-based models of geographical systems**. London: Springer, 2012. p. 19-50.
- BILGE, U. Agent based modelling and the global trade network. *In*: GEYER, R.; CAIRNEY, P. **Handbook on complexity and public policy**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2015. p. 414-431.
- BIRKIN, M.; WU, B. A review of microsimulation and hybrid agent-based approaches. *In*: HEPPENSTALL, A. *et al.* (Ed.). **Agent-based models of geographical systems**. London: Springer, 2012. p. 51-68.
- BOERO, R. *et al.* **Agent-based models of the economy**: from theories to applications. New York: Palgrave Macmillan, 2015.
- CECCONI, F.; CAMPENNI, M. What do agent-based and equation-based modelling tell us about social conventions: the clash between ABM and EBM in a congestion game framework. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 13, n. 1, 2010.

COLANDER, D.; KUPERS, R. **Complexity and the art of public policy**: solving society's problems from the bottom up. Princeton: Princeton University Press, 2014.

CROOKS, A. T.; HEPPENSTALL, A. J. Introduction to agent-based modelling. *In*: HEPPENSTALL, A. *et al.* (Ed.). **Agent-based models of geographical systems**. London: Springer, 2012. p. 85-105.

DAVIDSSON, P.; VERHAGEN, H.; KLÜGL, F. Simulation of complex systems. *In*: MAGNANI, L.; BERTOLOTTI, T. (Ed.). **Handbook of model-based science**. London: Springer, 2017. v. 3. p. 781-795.

DOSI, G. *et al.* Income distribution, credit and fiscal policies in an agent-based Keynesian model. **SSRN eLibrary**, Jan. 2012.

EDMONDS, B. The room around the elephant: tackling context-dependency in the social sciences. *In*: JOHNSON, J. *et al.* (Ed.). **Non-equilibrium social science and policy**. Switzerland: Springer, 2017. p. 195-208.

EDMONDS, B.; GERSHENSON, C. Modelling complexity for policy: opportunities and challenges. *In*: GEYER, R.; CAIRNEY, P. **Handbook on complexity and public policy**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2015. p. 205.

EDMONDS, B.; MEYER, R. (Ed.). **Simulating social complexity**: a handbook. New York: Springer, 2013.

EPSTEIN, J. M. Agent-based computational models and generative social science. **Complexity**, v. 4, n. 5, p. 41-60, 1999.

_____. Remarks on the foundations of agent-based generative social science. *In*: TEFATSION, L.; JUDD, K. L. (Ed.). **Handbook of computational economics**: agent-based computational economics. North Holland: Elsevier, 2006. v. 2. p. 1585-1604.

EPSTEIN, J. M.; AXTELL, R. **Growing artificial societies**: social science from the bottom up. Cambridge: Brookings/MIT Press, 1996.

FAGIOLO, G.; ROVENTINI, A. Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models redux: new developments and challenges ahead. **Journal of Artificial and Social Simulation**, v. 20, n. 1, 2017.

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

FORRESTER, J. W. Counterintuitive behavior of social systems. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 3, p. 1-22, 1971.

FUJITA, M.; KRUGMAN, P.; VENABLES, A. **The spatial economy**: cities, regions and international trade. Cambridge: MIT Press, 1999.

FURTADO, B. A.; SAKOWSKI, P. A. M.; TÓVOLI, M. H. A complexity approach for public policies. *In*: _____. **Modeling complex systems for public policies**. Brasília: Ipea, 2015. p. 17-36.

GALÁN, J. M. *et al.* Errors and artefacts in agent-based modelling. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 12, n. 1, 31 Jan. 2009.

GEYER, R.; CAIRNEY, P. **Handbook on complexity and public policy**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2015.

GILBERT, N.; TROITZSCH, K. **Simulation for the social scientist**. Great Britain: Bell and Bain Ltd., 2005.

GRÄBNER, C. *et al.* Getting the best of both worlds? Developing complementary equation-based and agent-based models. **Computational Economics**, p. 25, 2017.

GRIMM, V. *et al.* A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. **Ecological Modelling**, v. 198, n. 1, p. 115-126, 2006.

_____. The ODD protocol: a review and first update. **Ecological Modelling**, v. 221, n. 23, p. 2760-2768, 2010.

GRIMM, V.; RAILSBACK, S. F. Designing, formulating, and communicating agent-based models. *In*: HEPPENSTALL, A. *et al.* (Ed.). **Agent-based models of geographical systems**. London: Springer, 2012. p. 361-377.

HAMILL, L.; GILBERT, N. **Agent-based modelling in economics**. United Kingdom: Wiley, 2016.

HELBING, D. **Social self-organization**: agent-based simulations and experiments to study emergent social behavior. Berlin: Springer, 2012.

HEPPENSTALL, A. J. *et al.* **Agent-based models of geographical systems**. London: Springer, 2012.

JOHNSON, J. *et al.* (Ed.). **Non-equilibrium social science and policy**. Switzerland: Springer, 2017.

MAGNANI, L.; BERTOLOTTI, T. (Ed.). **Handbook of model-based science**. London: Springer, 2017. v. 3. p. 781-795.

MUELLER, B. Complex systems modelling in Brazilian public policies. *In*: FURTADO, B. A.; SAKOWSKI, P. A. M.; TÓVOLI, M. H. **Modeling complex systems for public policies**. Brasília: Ipea, 2015. p. 261-278.

NELSON, R.; WINTER, S. **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge: Harvard Business School Press, 1982.

NIAZI, M.; HUSSAIN, A. Agent-based computing from multi-agent systems to agent-based models: a visual survey. **Scientometrics**, v. 89, n. 2, p. 479, 2011.

NICOLESCU, B. **O manifesto da transdisciplinaridade**. São Paulo: Triom, 1999.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Applications of complexity science for public policy: new tools for finding unanticipated consequences and unrealized opportunities**. Paris: OECD, 2009.

OSTROM, T. M. Computer simulation: the third symbol system. **Journal of Experimental Social Psychology**, v. 24, n. 5, p. 381-392, 1988.

PAGE, S. E. **Diversity and complexity**. New Jersey: Princeton University Press, 2010.

PARUNAK, H. V. D.; SAVIT, R.; RIOLO, R. L. Agent-based modeling vs. equation-based modeling: a case study and users' guide. *In: MULTI-AGENT SYSTEMS AND AGENT-BASED SIMULATION*, 1., 1998, Paris, France. **Anais...** Paris: Mabs, 1998.

SQUAZZONI, F. A social science-inspired complexity policy: beyond the mantra of incentivization. **Complexity**, v. 19, n. 6, p. 5-13, 2014.

SUKUMAR, S. R.; NUTARO, J. J. Agent-based vs. equation-based epidemiological models: a model selection case study. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOMEDICAL COMPUTING*, 2012, Alexandria, United States. **Anais...** Alexandria: BioMedcom, 2012.

TERNA, P. From complexity to agents and their models. *In: BOERO, R. et al. Agent-based models of the economy: from theories to applications*. United Kingdom: Palgrave Macmillan, 2015. p. 10-30.

WILENSKY, U.; RAND, W. **An introduction to agent-based modeling**. Massachusetts: The MIT Press, 2015.

POLICYSPACE: O MODELO¹

Este capítulo explicita o *PolicySpace*, descreve sua lógica e seu desenvolvimento. Para além da intuição e dos fatos centrais que se busca mimetizar, apresenta sua condição inicial, seus agentes, mercados, parâmetros e *schedule*, bem como suas diversas operacionalizações.

1 INTUIÇÃO DO POLICYSPACE E FATOS ESTILIZADOS

O fato organizador da proposta é a economia urbana e o mercado imobiliário. Busca-se investigar como os preços das residências se vinculam às rendas dos seus habitantes, aos impostos, aos locais de trabalho, à qualidade da vizinhança. E, ademais, como o fluxo de receitas e despesas se desloca de forma dinâmica e retroalimentar no ambiente urbano municipal metropolitano, dadas as regras do caso brasileiro e as informações empíricas disponíveis.

Nesse sentido, a heterogeneidade observada nas metrópoles brasileiras, com marcante polarização entre centro e periferia (Furtado, Krause e França, 2013), é reproduzida no *PolicySpace* por meio do desenho dos dados iniciais, lidos a partir do *Censo Demográfico 2000* (IBGE, 2003), mas também na própria dinâmica e análise dos dados gerados pelo modelo.

Fundamentalmente, as residências são mais baratas nos locais onde a qualidade de vida é mais baixa, onde há menos empresas e o fluxo de investimentos dos impostos também é menor (Furtado, Mation e Monasterio, 2013). Com isso, há perpetuação das desigualdades iniciais e comportamento distinto de indicadores de desemprego ou de desigualdade entre os municípios de cada região metropolitana modelada. Além disso, a escala da região central em vários indicadores é desproporcionalmente maior nas sedes metropolitanas, quando comparadas com os demais municípios periféricos.

1. O autor agradece as contribuições ao desenvolvimento anterior do modelo, em especial a Isaque Daniel Rocha Eberhardt (desenvolvimento de *plots*, controle automático de simulações múltiplas e contribuições gerais no projeto, de agosto de 2015 a outubro de 2016) e Alexandre Messa (discussões e leitura de textos), consolidadas em publicações anteriores (Furtado e Eberhardt, 2016; Furtado, Eberhardt e Messa, 2017a; 2017b), e os comentários pontuais de Davoud Taghawi-Nejad e Brais Alvarez-Pereira. No período de agosto de 2017 a janeiro de 2018, o projeto ganhou a contribuição de Francis Tseng, que otimizou e adaptou o código, tornando-o mais eficiente e flexível. Finalmente, agradece os comentários de uma revisão anterior do modelo aos pareceristas Fábio Vaz e Fabiano Pomper Mayer.

O objetivo central do *PolicySpace* é investigar a arrecadação de impostos e a sua distribuição espacial entre municípios de aglomerações metropolitanas. A hipótese de pesquisa é que haveria ótima distribuição de recursos fiscais, podendo levar a maior desenvolvimento do aglomerado metropolitano em termos de qualidade de vida e pujança econômica.

No intuito de tornar essa análise quantitativamente observável e analiticamente compreensível, entendeu-se que seria necessário primeiro replicar os mercados sobre os quais os impostos a serem investigados incidem para que posteriormente fossem testadas alternativas de alocação dos recursos arrecadados. Por essa razão, a proposta contém um mercado básico de trabalho, com empregados e empregadores, famílias e firmas e um mercado de bens, também simplificado. Adicional e fundamentalmente, um mercado imobiliário que, embora simples, se baseia na capacidade de poupança das famílias e no cálculo hedônico dos imóveis que considera as características próprias, bem como sua localização.

A dinamicidade do *PolicySpace* é dada, entre outros fatores, pela alteração da porção dos preços de imóveis que é determinada pela localização. De modo geral, cada município tem um valor de referência que impacta de forma direta os preços. Esse valor varia conforme são arrecadados impostos e feitos investimentos de forma proporcional à população residente a cada momento.

Em conjunto, isso significa que municípios que arrecadam mais sobem os preços dos imóveis de forma mais rápida que os vizinhos. Famílias com maiores poupanças conseguem se mudar para esse município, enquanto famílias com baixa produtividade – dada pela qualificação de seus membros – ou com proporção alta de desempregados buscam residências mais baratas, provavelmente, em outros municípios.

Está dada a configuração típica do mercado imobiliário na qual todas as famílias buscam morar nos melhores lugares, porém apenas uma porção delas consegue arcar com os custos de investimento para fazê-lo (Furtado, 2009).

2 MODULARIDADE: O PROCESSO

Uma das grandes vantagens do processo de construção dessa ferramenta como contribuição à análise de políticas públicas é seu processo modular.

A essência do *PolicySpace* é que *efeitos de políticas* em áreas distintas possam ser conhecidos horizontalmente ao longo de todo o sistema. Ilustrativamente, veja que a mudança de várias famílias de uma região a outra da cidade, por exemplo, influencia os preços do solo (na região que perde famílias e na região que as recebe), a mobilidade urbana e a demanda de consumo em ambas as regiões. Entretanto, a interconectividade desses efeitos não precisou ser implementada, é inerente a modelagem baseada em agentes (*agent-based modeling* – ABM).

A implementação de todos esses efeitos também não precisa ser feita de forma simultânea, de uma só vez. Pode-se ter em primeiro lugar um mercado de consumo que funcione, implementar na sequência a localização e logo depois a mudança das famílias (o mercado imobiliário) e, é possível, depois, instalar um sistema de transporte que observe a demanda de acordo com a localização das famílias.

Exatamente desse modo que o *PolicySpace*, detalhado na seção 3, foi desenvolvido, de forma paulatina, integrada aos sistemas anteriores, mas trazendo novo detalhamento e alternativas na forma de novos módulos. A título de exemplo, listam-se a seguir as etapas de desenvolvimento, conforme se sucederam na realidade.

A primeira implementação foi de ordem temporal. O módulo *time_iteration*² prevê que, dado um parâmetro de duração temporal, vinte anos ou 5.040 dias úteis, os dias, meses, trimestres e anos iriam se suceder, um a um. Estava dada a plataforma sobre a qual operações diárias, mensais, trimestrais ou anuais poderiam ser implementadas.

Adiantando o processo, um primeiro algoritmo com agentes e municípios abstratos foi implementado e publicado (Furtado e Eberhardt, 2016). O número de cidadãos era de 1 mil agentes e os municípios eram sete regiões quadradas. Nessa versão, já eram três os mercados: de bens, de trabalho e imobiliário.

O próximo processo foi a transformação de regiões abstratas em municípios reais, com a configuração espacial real, importada de arquivos *shapefile*, disponibilizados oficialmente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Um outro módulo passou a ler as informações municipais corretas de população, gênero e faixa etária de cada município e incorporar essas informações ao gerar os agentes da simulação. Nesse estágio, os parâmetros de *número de agentes: 1 mil* pôde ser desprezado do modelo e substituído por populações reais. A configuração dos mercados, todavia, já estava dada e não precisa se alterar se aplicada a 1 mil agentes abstratos ou aos efetivos 31.022 habitantes que correspondem a 3% da população da Área de Concentração de População (ACP) de Natal em 2000 (IBGE, 2015).³

Do mesmo modo, quando foi incluída a diferenciação entre localização em áreas rurais ou urbanas, o cálculo de distância entre casa e trabalho já estava implementado e não precisou ser alterado.

Paulatinamente, outras mudanças foram incluídas no *PolicySpace*. Após a utilização de dados empíricos de população e coordenadas espaciais dos municípios, foi incluído um módulo chamado *demographics* que efetivamente processa o aniversário dos agentes, a cada ano, e probabilisticamente a mortalidade

2. Essa função foi descontinuada e permanece no módulo *simulation.py*.

3. Foram considerados os municípios de Parnamirim, Extremoz, Macaíba, Natal, Nísia Floresta, São Gonçalo do Amarante e São José de Mipibu.

e a fertilidade – ainda de acordo com as tábuas de mortalidade do IBGE. Essa implementação significa que o *PolicySpace* se inicia com 31.022 agentes,⁴ para esse exemplo, mas pode operar com 29.980 no mês seguinte,⁵ sem que as demais regras e procedimentos sejam alterados. Na sequência, implementaram-se vários gráficos e estatísticas de resultados da própria simulação.

Outras contribuições modulares relevantes decorreram da introdução dos chamados *controls*.⁶ Trata-se de módulos de controle que operam por cima do módulo principal da simulação e permitem que seja simulado n número de vezes, com configurações alternativas e resultados processados automaticamente.

Uma mudança de maior magnitude foi a transformação fiscal. Originalmente, o modelo continha somente um imposto sobre consumo. Uma etapa modular então foi a transformação deste imposto em cinco impostos: sobre consumo, sobre salários, sobre lucros, sobre propriedade habitacional e sobre transferência de propriedade. Embora mais trabalhosa, essa mudança se beneficiou da existência dos mercados sobre os quais os impostos incidem. Ainda assim, outros aspectos do *PolicySpace*, tais como a demografia ou a geração de residências, permaneceram intactos.

Por fim, módulos de teste de políticas – alternativas de distribuição dos impostos arrecadados – foram implementados em cima da estrutura dada.

Todos esses passos servem apenas para ilustrar a construção modular até agora. Passos posteriores (discutidos no capítulo 8) serão introduzidos da mesma forma. Esse processo cumulativo se beneficia de todos os avanços feitos anteriormente.

3 PROTOCOLO ODD: OVERVIEW, DESIGN AND DETAILS

Como sugerido reiteradamente na literatura de modelagem baseada em agentes, e paulatinamente cada vez mais observado pela comunidade, a descrição de ABMs é feita seguindo o protocolo *Overview, Design Concepts and Details* (ODD) proposto por Grimm *et al.* (2006) e atualizado em 2010 (Grimm *et al.*, 2010). Ele é composto por três elementos principais: *i) overview* – descrição geral; *ii) design concepts* – que descrevem o desenho da proposta e sua concepção; e *iii) details* – que detalham aspectos da inicialização, dos dados e de submodelos. Na medida do possível, buscaremos seguir o protocolo neste trabalho.⁷

4. Vale notar ainda que como o modelo é desenvolvido na linguagem de programação *Python* e todas as mudanças são enviadas para um servidor de versionamento, tipo *Git*, todas as alterações de código ficam preservadas e qualquer configuração anterior está imediatamente disponível no servidor.

5. O modelo não inclui ainda um módulo referente a migrações.

6. Esses módulos também foram substituídos e sua funcionalidade, transferida ao módulo principal *main.py*. Diferenças alternativas podem ser chamadas diretamente da linha de comando. Veja sobre a operacionalização na seção 4 deste capítulo.

7. Explicitamente, os autores sugerem usar o texto: “a descrição do modelo segue o protocolo ODD (visão geral, conceitos e desenho e detalhes)” (Grimm *et al.*, 2010, p. 2765, tradução nossa).

De acordo com a lógica proposta por Grimm *et al.* (2010), o desenvolvimento da descrição se dá no seguinte sentido: *i*) visão geral; *ii*) descrição estática dos agentes; *iii*) descrição temporal e espacial – como os processos alteram as condições iniciais dos agentes e em qual ordem; *iv*) conceitos subjacentes; *v*) desenho do estágio inicial e descrição dos dados empíricos utilizados; e *vi*) detalhamento de porções relevantes, por exemplo, a descrição dos mercados neste texto.

3.1 ODD: propósito

De acordo com o protocolo ODD, a pergunta a ser respondida neste item é: qual é o propósito do modelo? Em termos simples, o propósito é fornecer uma plataforma espacial básica que contém regiões metropolitanas e seus municípios, mercados, trabalhadores e firmas que repliquem comportamentos gerais do ponto de vista macroeconômico, e seja capaz de indicar trajetórias futuras a partir de alterações e variações de políticas públicas e parâmetros econômicos e de comportamento.

Especificamente, o propósito de pesquisa é elaborar modelo que seja capaz de identificar se propostas de alterações na distribuição de recursos fiscais entre municípios metropolitanos são benéficas ou não para o conjunto dos cidadãos metropolitanos em termos de qualidade de vida e produção econômica em um intervalo de tempo razoável.

3.2 ODD: entidades, estados e escalas

Este item, de acordo com a proposta de Grimm *et al.* (2010, p. 2764), deve incluir resposta às seguintes perguntas: “que tipo de entidades estão no modelo? Quais variáveis e atributos o caracterizam? Qual é a extensão temporal e resolução espacial do modelo?” Os processos de atualização das variáveis e dinâmicas são descritos nas subseções seguintes.

As entidades do modelo ou os seus agentes são os cidadãos, as firmas e os municípios. Adicionalmente, os cidadãos se organizam primordialmente em famílias ao tomar decisões de consumo e residência. A própria residência constitui-se com características próprias de forma independente da família. A seguir, detalham-se as propriedades de cada um desses agentes. Seus métodos e processos são descritos nas subseções seguintes.

3.2.1 Cidadãos

Formalmente, enquanto uma classe no conceito de Programação Orientada a Objeto (OOP), os cidadãos do modelo possuem as características do quadro 1.

O cidadão já “nasce”, portanto, com identificação própria e fixa ao longo da simulação, com sexo, mês de nascimento e família determinados. A qualificação também não se altera nesta versão. Mensalmente, alteram-se a quantidade de dinheiro

em mãos, a utilidade – dada pelo consumo acumulado –, e, quando integrante da população econômica ativa, eventualmente, registra-se a ID (identificação) da firma na qual trabalha em dado momento, bem como a distância da casa em que habita e a firma. Vale notar que os cidadãos são gerados a partir da proporção municipal que influencia na sua idade inicial e no seu nível de qualificação.

QUADRO 1
Características dos cidadãos

Propriedades	Valores	Observações
ID	Inteiro	Fixo. Único.
Sexo	<i>Male, female</i>	Fixo. Sorteado.
Idade	Inteiro	Lendo proporção para cada ano por município de origem. Variável.
Mês de aniversário	Inteiro [1, 12]	Fixo. Sorteado.
Qualificação	Inteiro [1, 15]	Fixo. Lendo dados municipais.
Dinheiro	<i>Float</i>	Inicial sorteado (50. 150). Variável.
ID da firma	Inteiro	Inicial: <i>none</i> . Único. Variável.
Utilidade	<i>Float</i>	Soma cumulativa do consumo.
Família	Inteiro	ID da família. Fixo.
Distância	<i>Float</i>	Variável. Distância casa-firma quando empregado.

Elaboração do autor.

3.2.2 Famílias

Famílias são criadas como *collectives* (Grimm *et al.*, 2010) de cidadãos. São solidárias em relação ao consumo e à escolha da residência, no sentido em que decidem de forma única e utilizam seus recursos financeiros de forma conjunta. Também abrigam novos membros na medida em que mulheres em idade fértil, de acordo com a probabilidade oficial do IBGE, concebem novos membros. Nessa versão, não há geração de novas famílias, apenas novos membros.

As propriedades das famílias incluem, além da sua ID específica, única e fixa: o balanço com a soma dos recursos financeiros de seus membros, uma conta de poupança, a própria lista de quais membros pertencem à família, a casa que a família atualmente ocupa e seu preço, além do consumo acumulado médio (quadro 2).

O número médio de membros por família é dado por um parâmetro, no momento inicial, quando da geração de agentes, a cada simulação. Esse número, dada a população, determina o número de famílias potenciais.

A alocação de membros nas famílias é sorteada de forma independente, de modo que podem haver famílias com diferentes números de membros.

QUADRO 2
Características das famílias

Propriedades	Valores	Observações
ID	Inteiro	Fixo. Único.
Balanço	Float	Soma dos recursos financeiros mensais. Variável.
Poupança	Float	Variável. Alimentado pelos recursos não consumidos a cada mês. Gastos exclusivamente no mercado imobiliário.
Membros	Dicionário	Em fato, contêm os próprios objetos dos cidadãos da família.
House ID	Inteiro	Residência correntemente ocupada pela família.
Consumo	Float	Soma acumulada do consumo da família.

Elaboração do autor.

3.2.3 Residências

Cinco características são típicas das residências e, ao serem definidas no momento de sua criação, não se alteram ao longo da simulação. São elas: o endereço – dado por coordenadas geográficas reais (latitude e longitude) lidas dos arquivos oficiais do IBGE (*shapefile*); o tamanho, sorteado entre 20 e 120; a qualidade, categórica de 1 a 4 e se pertencente à área urbana ou rural, de acordo com a proporção oficial de cada município (quadro 3).

QUADRO 3
Características das residências

Propriedades	Valores	Observações
ID	Inteiro	Fixo. Único.
Endereço	Longitude, latitude	Fixo. Sorteado.
Tamanho	Inteiro [20, 120]	Fixo. Sorteado.
Qualidade	Inteiro [1, 4]	Fixo. Sorteado.
Propriedade	Inteiro	ID da família proprietária. Variável.

Elaboração do autor.

Adicionalmente, embora não seja gravado como atributo da residência, o preço é calculado a partir das variáveis de tamanho e qualidade, fixos e uma porção variável que depende do Quality of Life Index (QLI) do município da residência.

Dado o endereço, automaticamente, tem-se o município de localização de cada residência. Finalmente, cada casa ainda tem uma ID da família proprietária que pode variar ao longo da simulação.

3.2.4 Firmas

Firmas também apresentam endereços, município de localização e IDs fixos uma vez criados. A quantidade de firmas por municípios é determinada a partir da

leitura dos dados da Relação Anual de Informações Sociais (Rais) do Ministério do Desenvolvimento Social (MDS).

As propriedades das firmas estão relacionadas a seu funcionamento e variam mensalmente (quadro 4).

QUADRO 4
Características das firmas

Propriedades	Valores	Observações
ID	Inteiro	Fixo. Único.
Endereço	Longitude, latitude	Fixo. Sorteado.
Balço	Float	Quantidade total de recursos financeiros disponíveis. No início da simulação, sorteados a partir de uma distribuição beta ($\alpha = 1.5$ e $\beta = 10$) * 10.000.
Trabalhadores	Dicionário	Contém os cidadãos correntemente trabalhando na firma.
Quantidade vendida	Float	Acumulada.
Quantidade produzida	Float	Acumulada.
Salários pagos	Float	Acumulada.
Receitas correntes	Float	-

Elaboração do autor.

Adicionalmente, as firmas produzem um produto homogêneo com a mesma tecnologia. A produtividade é dada pela composição das qualificações dos seus empregados.

3.2.5 Municípios

Municípios podem ser considerados agentes do tipo *spatial units*, de acordo com Grimm *et al.* (2010). São delimitados de acordo com os limites municipais oficiais dados pelo IBGE. Seus processos e métodos são efetivos para aqueles outros agentes: firmas e residências que estão localizados em seus interiores.

Além da geometria e do nome, os municípios contêm propriedades de informações fiscais e regionais agregadas variáveis, tais como: produto interno bruto (PIB) regional, população, demanda de mobilidade acumulada e impostos mensais e acumulados. Cinco categorias de impostos e seu total são registrados: imposto sobre o consumo, propriedade, trabalho, firmas e transações imobiliárias. Adicionalmente, o Fundo de Participação dos Municípios (FPM), calculado a partir de frações dos impostos sobre o trabalho e as firmas, também é armazenado no município, antes de sua divisão de acordo com a regra de divisão tributária escolhida pelo modelador.

3.2.6 Extensão temporal e espacial

PolicySpace está configurado para todas as ACPs conforme definidas pelo IBGE (2015). Essas áreas são na prática equivalentes às regiões de “bacias de emprego”

ou regiões urbanas funcionais, na designação da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (Ahrend *et al.*, 2014). ACPs podem ser descritas como regiões econômicas que compreendem áreas nas quais os trabalhadores se locomovem cotidianamente no deslocamento casa-trabalho.

As 46 ACPs disponíveis no *PolicySpace* são: Aracaju, Belém, Belo Horizonte, Brasília, Campina Grande, Campinas, Campo Grande, Campos dos Goytacazes, Caxias do sul, Cuiabá, Curitiba, Feira de Santana, Florianópolis, Fortaleza, Goiânia, Ilhéus-Itabuna, Ipatinga, João Pessoa, Joinville, Juazeiro do Norte-Crato-Barbalha, Juiz de Fora, Jundiá, Londrina, Macapá, Maceió, Manaus, Maringá, Natal, Novo Hamburgo-São Leopoldo, Pelotas-Rio Grande, Petrolina-Juazeiro, Porto Alegre, Recife, Ribeirão Preto, Rio de Janeiro, Salvador, Santos, São José do Rio Preto, São José dos Campos, São Luís, São Paulo, Sorocaba, Teresina, Uberlândia, Vitória, Volta Redonda-Barra Mansa.⁸

O usuário do *PolicySpace* pode selecionar qual ACP simular, como também pode escolher simular todas de uma vez só. Ao fazê-lo, não há interdependência entre as ACPs. Na verdade, são simulações distintas que acontecem em paralelo, mas não há influência cruzada entre elas, seus efeitos são restritos a cada ACP individualmente.

Temporalmente, o *PolicySpace* está configurado para os dados do ano 2000 e o usuário escolhe o número de dias úteis para o qual quer simular. O mês está configurado para durar 21 dias úteis e o ano, 252 dias. Usualmente, utilizamos o número de 5.040 dias, o que equivale a vinte anos de duração da simulação. Ou seja, o horizonte temporal base é a simulação de 2000 a 2020.

As tarefas são realizadas mensalmente, embora atividades diárias, trimestrais ou anuais possam ser incluídas. As únicas opções disponíveis para trimestres e anos é a função de salvar dados. O padrão é mensal.

3.3 ODD: processos e execução temporal

Grimm *et al.* (2010, p. 2764) sugerem que esta seção descreva “quem faz o que, em qual ordem”. A ideia é oferecer o desenho geral dos processos e o encadeamento temporal. O desenho individual de processos mais complicados é descrito na subseção 3.7, sobre submodelos.

Cada simulação se inicia com a geração dos agentes (ou sua leitura a partir de gerações anteriores arquivadas) feita a partir dos dados oficiais (subseção 3.6), conforme as configurações dos parâmetros e as opções de cada simulação individual, como definidas pelo modelador (subseção 3.7).

8. A entrada das ACPs no modelo é feita com letras maiúsculas e sem acentos. Note que cinco ACPs são formadas por apenas um município: Campo Grande, Campo dos Goytacazes, Feira de Santana, Manaus e Uberlândia.

Especificamente, em relação ao mercado de trabalho e às firmas, duas ações iniciais são executadas. Em primeiro lugar, o produto é criado e incorporado por cada firma individual. A quantidade inicial é sempre nula e o preço de início é 1. Em segundo lugar, o mercado de trabalho é inicializado de modo que a simulação comece com os patamares de desemprego médio para janeiro de 2000: 8,6%.

Dados os agentes e o ambiente inicial, a simulação ocorre mensalmente. A seguir, listam-se as sequências de eventos. Para os processos mais relevantes, as equações, os fundamentos na literatura e os *pseudocodes* são descritos na subseção 3.7 de submodelos.

- 1) Produção: cada firma, independentemente, dado o seu quadro de funcionários e a qualificação de cada um, atualiza a produção mensal, de acordo com a seguinte equação:

$$Q_i = \sum_{l=1}^L l_i^\alpha .$$

Na qual Q_i é a quantidade produzida pela firma i , l é o nível de qualificação de cada empregado e α é o parâmetro de produtividade que varia entre 0 e 1. Ou seja, quanto maior α , maior a produtividade do empregado.

- 2) Demografia: para cada estado (em ACPs pertencentes a mais de um estado), para cada município, para cada cidadão, as operações demográficas – aniversário, mortalidade e fertilidade – são operacionalizadas probabilisticamente. As probabilidades de mortalidade e fertilidade são diferenciadas por estado e por ano calendário, de acordo com as tábuas do IBGE.
- 3) Consumo: cada família participa uma vez, mensalmente, do mercado de bens com uma demanda inicial ponderada por um parâmetro de propensão a consumir (β). O montante não utilizado em consumo a cada mês é transferido para uma conta de poupança para ser utilizada no mercado imobiliário. As famílias comparam preços ou distâncias para um número de firmas, dado por um parâmetro (*size_market*). As firmas são passivas e atendem às demandas de acordo com sua capacidade de oferta. Não há restrição municipal à escolha das firmas. Os impostos sobre o consumo são recolhidos no momento da venda.
- 4) Firmas, salário e preços: as firmas, então, calculam suas receitas, pagam os impostos sobre os lucros, pagam seus empregados e decidem se aumentam os preços.
- 5) Mercado de trabalho: a inicialização do mercado de trabalho se dá com a construção de uma lista de cidadãos em idade ativa [16 anos, 70 anos]

que se encontrem desempregados. Na sequência, cada firma toma a decisão de contratar um empregado, caso tenha tido lucros no mês, ou demitir um, caso contrário. Todavia, a frequência de entrada da firma no mercado de trabalho, qual seja, a frequência dessa tomada de decisão, é definida por um parâmetro (*labor_market*). Finalmente, o *matching* de empresas e empregados é feito. As empresas que oferecem maiores salários, escolhem primeiro. A escolha pode ser feita por critério de qualificação do empregado, ou, eventualmente, por distância da residência do candidato para a sede da empresa. Esse critério de escolha é feito por meio de outro parâmetro (*pct_distance_hiring*). No caso de distância, a verificação é feita pelas firmas para apenas cem candidatos.

- 6) Mercado imobiliário: na sequência, o mercado imobiliário é operacionalizado. Mensalmente, todas as casas desocupadas são consideradas como casas à venda. Em seguida, uma porcentagem das famílias determinada por um parâmetro (*percentage_check_new_location*) entra no mercado imobiliário. As famílias são ordenadas de acordo com os recursos disponíveis para entrar no mercado. As casas são ordenadas por preço. Esse procedimento facilita o *matching* entre famílias e casas. Famílias com poupança total abaixo da casa de menor valor saem do mercado. Assim, a primeira família com capacidade de comprar a casa mais cara realiza a oferta. O preço é calculado como a média entre o lado da oferta, considerado como o valor real estimado da casa, calculado considerando sua superfície, nível de qualidade e valor de sua região; e o lado da demanda, o montante disponível em recursos da família, contabilizado como o total da poupança. Os impostos sobre transação imobiliária são recolhidos quando as transações se efetivam. Embora com mecanismo simples, o mercado proposto permite a mobilidade das famílias e o ajuste entre capacidade de poupança e patrimônio imobiliário.
- 7) Impostos sobre as propriedades: as famílias proprietárias de residências fazem o pagamento de 1/12 do imposto de propriedade, caso tenham recursos.
- 8) Investimentos municipais: uma vez que o ciclo econômico se esgotou para o dado mês e os impostos foram pagos, o município investe os recursos recebidos ponderados pela população corrente proporcionalmente em termos de melhoria do índice de qualidade de vida.
- 9) Finalmente, os dados mensais são calculados e salvos.

3.4 ODD: conceitos gerais

3.4.1 Princípios básicos

“Quais os princípios, teorias, hipóteses que sustentam a abordagem do modelo?” (Grimm *et al.*, 2010, p. 2764). A hipótese do modelo é que as ACPs, na prática, caracterizam o cerne econômico da própria metrópole e se constituem como unidade econômica autônoma (Ahrend *et al.*, 2014; Firkowski, 2013). Entretanto, do ponto de vista orçamentário, decisório e de capacidade de prestação de serviços públicos, os municípios são entidades constitucionalmente autônomas. Há, portanto, incompatibilidade entre recursos e poder, de um lado, e necessidade de planejamento, articulação e integração, de outro.

Dado que as ACPs congregam trabalhadores que se locomovem diariamente e produzem predominantemente no município central, a metrópole, não faria sentido econômico separar custos e benefícios do processo de aglomeração. Na prática, quando há segregação entre metrópole e periferia, a primeira recebe os bônus das economias de aglomeração, deixando os ônus das deseconomias, especialmente violência e trânsito, para a periferia (Rodrigues, 2013).

Além disso, há indícios fortes de que escala é fundamental na burocracia municipal, com municípios maiores sendo mais eficientes na arrecadação e na prestação de serviços públicos (Gasparini e Miranda, 2011). Isso sem mencionar os custos de reprodução da burocracia municipal com duplicação de estruturas do Executivo e do Legislativo.

Finalmente, ressalte-se o entendimento do que é local no âmbito de uma região metropolitana conturbada e densamente povoada. Em municípios isolados, no interior, autonomia sobre legislação e planejamento do uso do solo, transportes e habitação é razoável. De fato, são os cidadãos locais, conhecedores da sua realidade, que atuam com mais propriedade.

Em regiões metropolitanas, entretanto, está claro que o sistema de transportes é um sistema em rede. Se o sistema é pensado de forma compartimentalizada, o usuário acaba precisando utilizar um serviço local, ir até a borda municipal, fazer baldeações incompatíveis, entrar em um novo sistema para continuar o deslocamento (Cervero, 2013; Pedroso e Lima Neto, 2013). O mesmo pode ser dito do planejamento do uso do solo e da habitação. Dada a mobilidade de pessoas nas viagens casa-trabalho em municípios distintos, não procede o raciocínio que as atividades são estanques, independentes, ou autárquicas, como sugere Royer (2013).

Considerada a hipótese da metrópole como região econômica única, com fragmentação política e orçamentária, a proposta aqui apresentada é a de permitir quantificar e qualificar alternativas de políticas públicas e suas trajetórias. Nesse

sentido, a pergunta de pesquisa pode ser investigada: o que ocorreria se a arrecadação e distribuição de impostos fosse centralizada?

3.4.2 Emergência

Quais resultados obtidos são emergentes a partir das propriedades dos indivíduos? (Grimm *et al.*, 2010). No caso do *PolicySpace*, a própria interação entre os agentes, dadas as regras e o desenho de cada um, não poderia ser prevista *a priori*. Nesse sentido, indicadores como desemprego, inflação e recursos financeiros disponíveis às famílias são explicitamente resultados emergentes. Apesar disso, a simulação do modelo repetidamente mostra que alguns indicadores mantêm o padrão de comportamento ao longo de várias simulações, embora não repitam trajetórias idênticas.

3.4.3 Adaptação

“Quais traços adaptativos os agentes possuem? Quais regras eles têm para tomada de decisão ou mudança de comportamento?” (Grimm *et al.*, 2010, p. 2764). A adaptação dos agentes aos pares e ao ambiente se dá fundamentalmente por meio dos preços e não de forma direta. Por exemplo, no mercado imobiliário, as famílias cujos membros têm qualificação maior são mais produtivas nas firmas, conseguem emprego de forma mais fácil e conseqüentemente reúnem maiores chances de adquirir residências mais caras em municípios com melhor qualidade de vida. Empresas que estão vendendo bem e mantendo os estoques baixos conseguem aumentar os preços e os salários pagos, com isso produzem mais proporcionalmente. Entretanto, elas podem perder clientes, dada a competição por preço.

Os municípios, por sua vez, podem ter seus índices de qualidade de vida alterados relativamente para baixo, quando recebem migrantes, ou para cima, quando há emigração. Isso ocorre simplesmente porque a população é considerada na transformação de recursos de impostos em aumento do QLI. Nesse sentido, a mesma quantidade de recursos vai ser mais ou menos efetiva, a depender do incremento ou decréscimo populacional.

3.4.4 Objetivos

No sentido referido anteriormente, os agentes não possuem um objetivo estrito. Todavia, quando as condições estão dadas (membros da família empregados, disponibilidade de recursos significativos na poupança), as famílias buscam melhoria da qualidade da residência.

Firmas, por outro lado, buscam de forma ativa manter um plantel de funcionários adequado a sua demanda variada. Dadas as condições em que há demanda forte (talvez quando as famílias consomem considerando a distância em vez dos preços), a firma vai em busca de preços mais altos.

3.4.5 Aprendizado

Como dito anteriormente, os agentes não mudam de forma evolutiva suas regras e comportamentos. Mas, como o ambiente (e os preços) se alteram de forma contínua, os resultados gerados a partir do comportamento fixo podem ser variáveis.

3.4.6 Previsão

Este item se refere à capacidade dos próprios agentes de fazer previsões. Isso não ocorre no *PolicySpace*. Ou seja, os agentes não tomam decisões baseados em estimativas ou previsões acerca do futuro.

A única propriedade dos agentes relacionada a tempos futuros é sua poupança. Entretanto, a poupança das famílias é, de fato, o resíduo dos recursos que não foram consumidos mês a mês, determinados probabilisticamente a partir de uma distribuição beta pelo parâmetro de propensão a consumir, definido exogenamente.

3.4.7 Sensores

Sensores, como proposto por Grimm *et al.* (2010), referem-se a mensagens e informações que os agentes disponibilizam entre si e que afetam sua tomada de decisão. No caso do modelo proposto, pode-se citar: a informação dos salários pagos a cada mês por cada firma que determina a ordem com a qual as firmas fazem suas escolhas de contratação. No mesmo processo do mercado de trabalho, a informação da qualificação do trabalhador ou a localização da sua residência também servem como informações que são consideradas na contratação.

As firmas também anunciam preços e localização e os consumidores se utilizam dessas informações para tomarem suas decisões.

Finalmente, os participantes do mercado imobiliário se utilizam das informações dos indicadores de qualidade de vida municipal ao elaborar o preço de venda de suas casas. A capacidade de recursos para compra de novas casas por parte dos participantes do mercado imobiliário também é considerada no momento de organizar as residências que vão estar disponíveis para compra.

3.4.8 Interação

A interação entre os agentes não é direta, mas, como descrito anteriormente, mediada pelas informações que eles trocam entre si. Pode-se dizer, de acordo com a sugestão de Grimm *et al.* (2010), que há interação indireta, que é aquela que ocorre por competição. Por exemplo, uma família com um dado nível de poupança compra casas distintas de acordo com o nível de poupança das outras famílias que estão no mercado naquele dado mês. Da mesma forma, um cidadão com menor escolaridade pode ter que aguardar momentos seguintes do mercado de trabalho

para conseguir colocação. Finalmente, firmas que estão pagando salários menores competem com as firmas que pagam melhores salários na seleção dos trabalhadores.

3.4.9 Estocasticidade

Estocasticidade é utilizada no *PolicySpace* inúmeras vezes uma vez que amplo espectro de decisões são probabilísticas. Obviamente, a probabilidade depende dos parâmetros e da distribuição utilizada que segue os dados empíricos observados.

Na criação dos agentes, são decididos de forma estocástica:⁹ o sexo, o mês de aniversário, a idade específica dentro da coorte, a qualificação (distribuição gama), o dinheiro inicial (distribuição beta) e a alocação na família. A própria alocação das famílias nas residências e a possibilidade de propriedade de outras residências também são estocásticas. Em relação às próprias residências, também são decididos de forma estocástica: seu tamanho e qualidade, sua localização, o fato de ser em área urbana ou não. Finalmente, no processo de geração das firmas: o balanço inicial das empresas (por meio de uma distribuição beta).

Nos processos, há decisão estocástica, também de acordo com os dados oficiais, para a mortalidade e fertilidade. E, ainda, no âmbito de decisão dos consumidores sobre qual critério utilizar na decisão de consumo (por preços ou por proximidade), na seleção de firmas a serem avaliadas e no montante a ser gasto (distribuição beta). No caso das firmas, há estocasticidade na decisão de frequência de atualização de preços e na tomada de decisão sobre mercado de trabalho, na escolha do empregado quando há decisão de desligamento e na escolha dos candidatos que vão participar da seleção quando a escolha para contratação depende da distância da residência do candidato.

Finalmente, ressalte-se que o *PolicySpace* pode ser simulado com uma *seed* fixa de modo que uma outra simulação ocorre com exatamente os mesmos valores, ou com uma *seed* aleatória. Nesse caso, para cada simulação os resultados obtidos são distintos (embora vários padrões estruturantes se mantenham). Como é praxe na literatura de ABMs, o modelo está configurado para rodar n vezes, com *seed* variável de maneira que os resultados finais sejam produzidos a partir de médias de várias simulações. Essa multiplicidade de simulações é feita para a análise de uma simulação simples de apenas uma ACP, na análise de sensibilidade, na análise de todas as ACPs em conjunto ou no exercício de políticas públicas.

3.4.10 Grupos

Neste item, Grimm *et al.* (2010, p. 2765) sugerem a resposta à seguinte pergunta: “os indivíduos se constituem em alguma associação ou grupo que os afeta e que é

9. Quando as distribuições não são informadas, referem-se a distribuições uniformes.

afetado pelos indivíduos?”. Nesse sentido, pode-se dizer que apenas os municípios são agentes que afetam residências que se encontram no seu interior, por meio da influência na sua configuração de preços.

De forma indireta, as famílias que habitam as residências conseguem acesso, ainda que de forma subjetiva, à melhor qualidade de vida do município. A variação da população de determinado município afeta a proporcionalidade do investimento dos recursos arrecadados na melhoria da qualidade de vida municipal.

3.4.11 Observações

Quais observações e quais dados são coletados e analisados no modelo? (Grimm *et al.*, 2010). Há opções nas escolhas do modo de simular o modelo que permitem que se gravem informações referentes aos cidadãos, às famílias, às firmas e às residências. De forma padrão, dados para os municípios e dados gerais agregados são sempre gerados. Os dados são também organizados mensalmente. Há, entretanto, a opção de salvá-los apenas de forma quadrimestral ou anual. Além disso, são gerados em formato *comma separated values* (CSV), com ponto e vírgula como separador e ponto como expressão decimal.

As seguintes informações, na mesma ordem, são gravadas no arquivo de firmas: meses, ID da firma, ID do município da firma, longitude, latitude, recursos financeiros disponíveis, número de empregados, quantidade em estoque, quantidade produzida, preço corrente, quantidade vendida, receitas, lucros e salários pagos.

Para os cidadãos, as seguintes informações são gravadas a cada simulação: meses, ID do município residente, sexo, longitude, latitude, ID do agente, idade, qualificação, ID da firma (quando for o caso), ID da família, recursos financeiros, consumo acumulado e distância trajeto casa-trabalho. Adicionalmente, quando se opta por salvar os agentes, aqueles que faleceram a cada simulação também são organizados em uma tabela à parte, com as mesmas informações disponíveis.

Para as residências, gravam-se: meses, ID da residência, longitude, latitude, tamanho, preço, ID da família (quando for o caso) e ID do município.

No caso das famílias, tem-se: meses, ID das famílias, preço da casa corrente, ID do município, poupança da família, número de membros e estratégia de decisão de compra (se por preços ou proximidade).

Observações gravadas em todas as simulações são agregadas (para o conjunto da ACP sendo simulada) ou por município. No caso dos municípios: meses, ID do município, soma total de viagens casa-trabalho, população, PIB, Gini, média dos valores das casas, desemprego, índice de qualidade de vida, PIB *per capita*, arrecadação tributária total, impostos sobre o consumo, sobre a propriedade residencial, trabalho, firmas, transações imobiliárias e transferências do FPM.

No caso agregado da ACP completa, gravam-se: meses, índice de preços, índice do PIB, crescimento do PIB, desemprego, média de trabalhadores por firma, disponibilidade média de recursos das famílias, poupança média das famílias, lucro médio das firmas, Gini, média de consumo acumulado das famílias, inflação, média do QLI.

Opcionalmente, as configurações da simulação permitem a elaboração automática de gráficos de vários desses indicadores, em especial por municípios e geral. É possível também gerar mapas com alguns valores de firmas e famílias e sua localização.

3.5 ODD: inicialização

“Qual é o estado inicial do modelo quando $t = 0$?” (Grimm *et al.*, 2010, p. 2765). Antes de se iniciar o modelo é necessário proceder à chamada geração dos agentes. Os agentes podem ser gerados com *seed* fixa, de modo que sejam sempre os mesmos (assim como todos os processos estocásticos subsequentes), ou com *seed* aleatória. Uma vez gerados, os arquivos são salvos (em formato *pickle* do *Python*), de forma que estão disponíveis para simulações seguintes, com a condição de que os quatro parâmetros específicos da simulação (porcentagem da população, ACP, residências vagas e número médio de membros na família) sejam mantidos.

O primeiro passo da geração de agentes é a leitura da base de dados do IBGE contendo as *shapefiles* oficiais (arquivos que contém geometria, polígonos, linhas ou pontos, vinculados a uma projeção cartográfica). A leitura é feita selecionando apenas os municípios que compõem a ACP a ser simulada. ACPs que ultrapassam os limites estaduais, tal como a Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno (Ride/DF), contam com os municípios, independentemente dos estados envolvidos. Note que conforme mencionado, a ACP é usualmente menor que a região metropolitana e é definida pelo IBGE (2015). As regiões são geradas com o valor do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) em 2000, o PIB inicial, as viagens acumuladas e os recursos de impostos iguais a 0.

Na sequência, a classe *Generator* gera os cidadãos, as residências, as famílias e as firmas e as retorna para a simulação em formato de dicionários cujas chaves são as respectivas IDs e os valores são os próprios objetos gerados.

No processo de povoamento dos municípios, tem-se o pseudocódigo do box 1.

BOX 1

Função create_all

```

Função: create_all
Para cada município entre os municípios da simulação:
  Verifica se haverá simplificação da população por coortes:
  Para cada idade ou coorte:
    Para cada gênero:
      Seleciona-se número de cidadãos1
      Para cada cidadão no total selecionado:
        Seleciona-se qualificação2
        Quando por coortes, seleciona idade
        Seleciona recursos financeiros
        Seleciona mês de aniversário
        Cria objeto agente (cidadão)
        Adiciona agente ao grupo de agentes municipais
          Update valor ID
      Adiciona os agentes em um dicionário de agentes geral
      Calcula-se número de famílias
      Calcula-se número de residências
      Calcula-se número de firmas3
      Chama-se a função create_families
      Chama-se a função create_household
      Chama-se a função create_firms
      Chama-se a função allocate_to_family4
      Incluem-se as famílias, residências e firmas municipais
      como agentes gerais
      Para cada residência nas residências municipais:
        Se a residência não contém família proprietária:
          Seleciona família e adiciona propriedade
    Retornam agentes, residências, famílias e firmas

```

Elaboração do autor.

Notas:¹ Por idade, gênero e município.

² De acordo com os dados para o município.

³ Para os três casos, de acordo com os parâmetros estabelecidos para a simulação.

⁴ Dadas as famílias e os cidadãos, por município.

Processos muito similares são utilizados para gerar famílias, residências e firmas, de acordo com os valores iniciais descritos na subseção 3.2. Na geração de residências, observa-se a proporção de residências em áreas urbanas e rurais e faz-se o sorteio de longitudes e latitudes de modo a manter a proporção. A alocação de agentes em famílias é feita de modo aleatório, sendo que, para cada cidadão da lista, uma família é escolhida. Desse modo, o número médio de cidadãos por família é preservado; entretanto, há famílias com número de membros variável.

Na sequência, como mencionado, uma primeira rodada do mercado de trabalho é simulada de modo a alcançar o desemprego médio de 8,6% para as seis regiões metropolitanas pesquisadas pelo IBGE para janeiro de 2000, e as populações municipais são atualizadas.

3.6 ODD: dados

Uma série de dados oficiais são lidos no processo de geração e atualização das simulações. Essas bases estão descritas nesta subseção.

Fecundidade

As tabelas de fecundidade estão separadas por Unidades da Federação (UFs) e contêm o número médio (e as projeções) de nascidos vivos por mulher, por anos-calendário, de 2000 a 2030, e por idades de 15 a 49 anos. As informações são da Diretoria de Pesquisa da Coordenação de População e Indicadores Sociais da Gerência de Estudos e Análises da Dinâmica Demográfica do IBGE e constam da *Projeção da População do Brasil e Unidades da Federação por Sexo e Idade para o Período 2000-2030*.¹⁰

Mortalidade

De forma similar à fecundidade, fornecida pela mesma fonte, a mortalidade é incorporada no *PolicySpace* por meio de distinção por sexo, idade, de 0 a 110 anos, por ano-calendário, de 2000 a 2030, e por UF. Entretanto, nesse caso, foram necessários alguns ajustes uma vez que os dados do IBGE só contam com mortalidade até os 90 anos de idade e para períodos de cinco em cinco anos. A transformação para mortalidade anual foi realizada por divisão simples entre os anos do período. A mortalidade para além de 90 anos foi feita a partir da expansão dos dados de Castro (2015) para 2008-2013, utilizando-se a média dos anos 2008-2010 para preencher o período anterior de 2000 a 2007 e a média do período 2010-2013 para preencher o período posterior até 2030.

Censo

As proporções de população urbana, o número de indivíduos, por sexo, por idade de 0 a 100 anos e por município, as *shapefiles* dos municípios e as manchas urbanas foram obtidos dos dados do *Censo Demográfico 2000* (IBGE, 2003). O conjunto de municípios de cada ACP também foi obtido no IBGE (2015).

Educação

Foram utilizados os dados do *Censo Demográfico 2000* (IBGE, 2003) com porcentagem da população municipal por grupos de anos de estudo. Pequenas adaptações foram feitas aos dados. Ao grupo com menos de um ano de estudo foi atribuído o valor 1, ao grupo entre um e três anos de estudo, o valor 2, ao grupo entre cinco e sete anos de estudo, valor 6, e para o grupo de nove e dez anos, valor 10. Finalmente, ao grupo não determinado (1,2% da população) foi atribuído o valor 9, que é próximo à mediana dos valores.

Firmas

O número de estabelecimentos por município vem da Rais do Ministério do Trabalho (MT).

10. Anexos nºs 12.891 e 12.892 recebidos diretamente do IBGE.

Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)

O IDHM é fornecido por município, para 2000 e 2010, calculado pelo Ipea, pela Fundação João Pinheiro (FJP) e pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (Pnud).¹¹

FPM

Dados oficiais de FPM disponibilizados pela Secretaria do Tesouro Nacional (STN) foram utilizados como proporção real de distribuição entre municípios.

Tributos

Utilizaram-se também da STN dados referentes à arrecadação tributária para os municípios presentes no *PolicySpace*.¹²

3.6.1 Dados para outros países

A utilização dessa plataforma para análise de caso de outros países deveria conter dados equivalentes, quais sejam: dados municipais para população por sexo e idade e para anos de estudo, dados estaduais ou de províncias para mortalidade e fecundidade, polígonos administrativos municipais e de áreas urbanas, número de firmas, índice de qualidade de vida, regras de distribuição fiscal entre os municípios e agregação de municípios em regiões funcionais. A validação demandaria dados regionalizados de desemprego, inflação, PIB, consumo das famílias e receitas tributárias.

3.7 ODD: submodelos

Esta subseção detalha a arquitetura das partes mais relevantes do modelo e inclui literatura e justificativas para as tomadas de decisão implementadas. Remete ainda à validação e aos testes feitos no capítulo 3. Nesse sentido, descreve os três mercados presentes na proposta – de bens, de trabalho e imobiliário – e esclarece a tomada de decisão das firmas quanto à produção e às vendas, a decisão de preços e de salários e o comportamento de consumo das famílias. Antes da descrição dos submodelos, panorama geral contendo todos os parâmetros utilizados na simulação é apresentado. As diferentes formas de realizar a simulação constam na seção 4.

3.7.1 Parâmetros

Usualmente, modelos com menos parâmetros são mais simples. E simples é melhor do que complicado, de acordo com o princípio da Navalha de Occam. Os parâmetros do modelo apresentados a seguir (quadro 5) servem mais para a análise das variações de configurações diferentes do que para a construção do modelo

11. Disponível em: <<http://atlasbrasil.org.br/2013/>>.

12. Disponível em: <<http://tesouro.fazenda.gov.br/contas-aneais/>>.

propriamente dita. Desse modo, vários parâmetros podem ser definidos de modo a não interferir na simulação. A análise sistemática da variação dos parâmetros é feita na análise de sensibilidade e em algumas aplicações.

QUADRO 5
Parâmetros do modelo e valores para configuração padrão

Parâmetros	Valor padrão	Observações
Mercado de bens – firmas		
<i>Alpha</i>	0.24	Expoente na função de produtividade. Varia entre 0 e 1, sendo 1 o trabalhador mais produtivo.
<i>Markup</i>	0.15	Porcentagem utilizada pelas firmas para aumentar os preços.
<i>Sticky_prices</i>	0.5	Fator que controla a frequência com que a firma decide avaliar se aumenta os preços. Varia de 0 a 1, quanto menor o valor, mais frequentemente a firma avalia.
<i>Production_magnitude</i>	76	Divide a produção efetiva mensal da firma, de modo a tornar a produção compatível a outros parâmetros (<i>markup</i> , preços).
Mercado de bens – famílias		
<i>Beta</i>	0.7	Propensão a consumir na função de consumo. Entra como parâmetro beta: $(1 - \beta)/\beta$, em uma função randômica beta variada no qual $\alpha = 1$. Maior β , maior consumo, menor poupança.
<i>Size_market</i>	10	Número de firmas consultadas pelas famílias na decisão sobre produto mais barato ou mais próximo.
Mercado de trabalho – firmas		
<i>Labor_market</i>	0.05	Frequência com que a firma avalia se participa do mercado de trabalho. Quanto menor o valor, mais frequente.
Mercado de trabalho – regras		
<i>Pct_distance_hiring</i>	0.17	Porcentagem de candidatos a empregos que serão avaliados pelo critério de distância casa-trabalho.
<i>Wage_ignore_unemployment</i>	<i>False</i>	<i>True</i> : firmas distribuem toda a receita arrecadada. <i>False</i> : firmas diminuem salários pagos proporcionalmente ao desemprego corrente.
Mercado imobiliário – famílias		
<i>Percentage_check_new_location</i>	0.01	Porcentagem de famílias que entram no mercado imobiliário. Número de famílias que efetivamente realizam transações pode ser distinto.
Impostos – alíquotas		
<i>Tax_consumption</i>	0.00039	Alíquota de imposto sobre consumo. Cobrado no momento da venda.
<i>Tax_labor</i>	0.00013	Alíquota de imposto sobre salários. Cobrado no momento do pagamento aos empregados.
<i>Tax_estate_transaction</i>	0.0000015	Alíquota de imposto sobre transações. Cobrado na efetivação da compra no mercado imobiliário.
<i>Tax_firm</i>	0.00044	Alíquota sobre receitas menos salários pagos. Pagos mensalmente pelas firmas.
<i>Tax_property</i>	0.0000016	Alíquota sobre propriedade dos imóveis. Pago 1/12 mensalmente.
Impostos – regras		
<i>Alternative0</i>	<i>True</i>	Municípios são considerados normalmente para distribuição de receitas fiscais. <i>False</i> : receitas são distribuídas de forma igualitária entre os municípios, ponderadas pela população corrente.
<i>Fpm_distribution</i>	<i>True</i>	As regras e proporcionalidades do FPM são observadas. <i>False</i> : os recursos arrecadados não seguem as regras do FPM.

(Continua)

(Continuação)

Parâmetros	Valor padrão	Observações
Geração de agentes		
<i>Members_per_family</i>	2.5	Número médio de membros por família.
<i>House_vacancy</i>	0.05	Porcentagem de casas vazias esperadas.
<i>Simplify_pop_evolution</i>	<i>True</i>	Simplifica a geração de população por grupos de idade agregados [6, 12, 17, 25, 35, 45, 65, 100] – os grupos podem ser alterados. <i>False</i> : inclui todas as idades.

Elaboração do autor.

Em relação ao mercado de bens, cinco são as alternativas para o modelador.¹³ O parâmetro *alpha* serve para variar a produtividade dos trabalhadores em relação a sua qualificação. Quando *alpha* é 1, a produtividade é igual aos anos de estudo do trabalhador. Quando é 0, todos os trabalhadores produzem uma unidade. *Markup* é a porcentagem utilizada pelas firmas quando decidem atualizar seus preços. A própria frequência com que a firma verifica se vai alterar os preços é controlada por outro parâmetro, *sticky_prices*.

Pelo lado das famílias, dois parâmetros controlam respectivamente a magnitude do consumo (*beta*), em contraste com a poupança, e o número de firmas que a família consulta na decisão do local de consumo.

O mercado de trabalho conta com três parâmetros associados a regras de funcionamento. *Labor_market* define a frequência com que as firmas avaliam se contratam ou demitem. E o parâmetro *wage_ignore_unemployment*, que assume valores de verdadeiro ou falso, muda a regra que a empresa utiliza para decidir sobre os salários ofertados. Quando verdadeiro, toda a receita líquida da empresa é distribuída em forma de salários. Quando falso, a empresa pondera os valores de salários pelo nível de desemprego, pagando menos quando o desemprego é maior. Finalmente, *pct_distance_hiring* define a porcentagem de candidatos que serão selecionados por critério de localização. Note, quando esse parâmetro é 0, a contratação total é feita por qualificação.

O parâmetro do mercado imobiliário apenas estabelece o número de famílias que avaliam o mercado a cada mês. Já na análise fiscal, os parâmetros são as alíquotas dos impostos sobre consumo, trabalho, firmas, propriedade da residência e transações imobiliárias. Adicionalmente, há duas regras que em conjunto permitem quatro configurações do sistema distributivo dos impostos arrecadados (veja detalhes na descrição do mercado imobiliário na subseção 3.7.7).

Dois parâmetros adicionais referem-se apenas a ajustes internos de proporções em relação às magnitudes de grandezas utilizadas no *PolicySpace*. São eles:

13. Variações no parâmetro *production_magnitude* alteraram muito pouco o comportamento geral do modelo, de modo que sugerimos ao modelador manter esse parâmetro com valor fixo.

production_magnitude, que reduz a produção em determinado número de vezes, e *treasure_into_service*, que multiplica os investimentos de impostos no incremento do QLI, de modo a tornar os índices comparáveis a valores observados.¹⁴

Outros dois parâmetros referem-se à criação dos agentes e das casas. *Members_per_family*, referente ao número médio de membros por família, e *house_vacancy*, que determina a porcentagem padrão de casas vagas, ou, de outro modo, o número de casas a serem criadas a mais em relação ao total de famílias. Por fim, dois parâmetros detalham se a população será sorteada de forma simplificada por grupos de idade (*simplify_pop_evolution*) e os grupos de idade para o sorteio (*list_new_age_groups*).

3.7.2 Firmas: função de produção

O produto produzido pelas firmas é homogêneo e singular e a tecnologia é fixa (Lengnick, 2013). A função de produção depende exclusivamente da quantidade e qualificação dos funcionários em determinado mês (Gaffeo *et al.*, 2008). Esta função propriamente dita é dada por:

$$Q_i = \sum_{j=1}^J j^\alpha.$$

Na qual Q_i é a quantidade mensal produzida pela empresa i , j são os funcionários da empresa e α é o parâmetro de produtividade.

3.7.3 Firmas: decisão sobre preços

A decisão da firma de ajustar preços não é tarefa trivial ou que segue metodologia padrão (Blinder, 1994). Usualmente, a capacidade de impor preços está vinculada ao comportamento do próprio inventário, qual seja a demanda que a própria firma observa (Bergmann, 1974; Seppecher, Salle e Lavoie, 2017) e a participação da firma no mercado mais geral (Dosi, Fagiolo e Roventini, 2010). Hamill e Gilbert (2016) sugerem um parâmetro de incremento variável dos preços com intervalo de ajuste entre 1% e 30%.

Para o *PolicySpace*, o aumento de preços depende de dois parâmetros. Um deles, *sticky_prices*, determina se a firma avalia os preços ou não, de acordo com a constatação de Blinder (1994). Em caso afirmativo, se a quantidade vendida no período anterior é maior que a quantidade produzida no mês, os preços são aumentados de acordo com a proporção fixa do parâmetro *markup*.

14. Esse último parâmetro – na configuração padrão – está definido como 1, e, portanto, apresenta efeito nulo para a simulação.

3.7.4 Mercado de bens: famílias e consumo

O consumo dos cidadãos é feito de forma conjunta na família. Os recursos referentes aos salários recebidos no período são agregados e a decisão de consumo da família é única. O primeiro passo é a decisão do montante positivo a consumir. A escolha é feita entre zero e o valor máximo disponível, a depender do parâmetro de propensão a consumir β ; β é o próprio beta da distribuição beta, sendo que α é 1.

Em seguida, as famílias selecionam as firmas que vão consultar de acordo com um número dado por um parâmetro exógeno (*size_market*) e, em seguida, decidem se vão fazer a seleção da firma por preços ou por proximidade, com 50% de chance para cada decisão. Entre as firmas selecionadas, portanto, escolhem aquela com menor preço ou mais próxima e consultam a disponibilidade de produtos. A firma venderá o total da demanda, caso esteja disponível. Caso contrário, os recursos não consumidos retornam à família.

Os recursos da família não consumidos em determinado mês são direcionados a uma conta de poupança exclusiva para participação no mercado imobiliário.

3.7.5 Mercado de bens: firmas e vendas

Do ponto de vista das firmas, uma vez que a produção e os estoques estão dados e o preço definido, a cada solicitação de demanda, elas simplesmente verificam a disponibilidade, recolhem o imposto sobre consumo e, caso não possam atender ao pedido de forma completa, retornam o troco ao cliente.

3.7.6 Mercado de trabalho: *matching*

Assim como os demais mercados, o mercado de trabalho é simples,¹⁵ seguindo Hamill e Gilbert (2016), e o objetivo é apenas fornecer dinâmica razoável dos mercados de modo que a aplicação de tributos e a sua distribuição espacial possam ser avaliadas, ou seja, o seu propósito cumprido (Crooks e Heppenstall, 2012).

De acordo com Neugart e Richiardi (2012), não há consenso na literatura acerca dos processos de tomada de decisão das firmas em relação ao pagamento de salários. De todo modo, é razoável supor que parte proporcional do faturamento define os salários e que a competição por novos empregados se dê, pelo menos em parte, por meio dos salários oferecidos.

Em princípio, todos os cidadãos entre 16 e 70 anos inclusive buscam emprego todos os meses e compõem o grupo de candidatos. Do lado da firma, a avaliação de participação no mercado de trabalho é feita de forma variável, a depender de um parâmetro exógeno (*labor_market*). Quando decide participar do mercado e

15. Para uma proposta de mercado de trabalho com o conjunto total de agentes para os Estados Unidos que replica fatos estilizados e a dinâmica, ver Axtell (2013).

obteve lucro nulo ou positivo no último mês, a firma compõe o grupo de firmas que estão contratando.

A primeira ação que ocorre no mercado é o rearranjo aleatório dos candidatos. Em seguida, dado o parâmetro exógeno de decisão no mercado de trabalho por proximidade da firma ou por qualificação (*pct_distance_hiring*), separam-se os candidatos em duas listas proporcionais ao parâmetro.

Ressalve-se que, para o caso brasileiro, o local de residência é fator relevante no momento da seleção de trabalhadores, dado que a legislação impõe ao empregador o custo dos transportes que excedam 6% do salário do empregado. Portanto, especialmente nos trabalhos menos remunerados e com menor qualificação, o local de residência é utilizado como critério discriminador. Ainda assim, o *PolicySpace* permite a simulação com o parâmetro igual a 0, o que indica influência nula da distância casa-trabalho no processo de seleção.

Em ambos os casos, as firmas são organizadas por ordem de oferta de salários. Aquelas que estão pagando salários mais altos, escolhem primeiro. Os salários são calculados a partir da receita bruta da firma, descontada dos impostos sobre o consumo. Adicionalmente, a configuração padrão também desconta o inverso do desemprego corrente (*wage_ignore_unemployment: False*). Ou seja, a massa salarial ofertada pela empresa se dá por: receita bruta, deduzida dos impostos e multiplicada por 1 menos o índice percentual de desempregados: $\text{salário-base} = \text{receitas} * (1 - \text{imposto sobre consumo}) * (1 - \text{taxa de desemprego})$. Internamente à empresa, a massa salarial é distribuída proporcionalmente à produtividade de cada trabalhador que é dada por sua qualificação.

Os candidatos também são organizados por qualificação. Com isso, a firma que paga maior salário escolhe o candidato mais qualificado e assim sucessivamente. No critério de distância, cada firma “entrevista” cem candidatos e escolhe aquele cuja residência é a mais próxima da própria firma.

Note que cada firma só contrata um funcionário por rodada. Caso a lista de firmas ou de candidatos se esgote, o processo é interrompido e reiniciado apenas no mês seguinte. Ao fim do processo, os grupos de firmas e candidatos são desfeitos.

3.7.7 Mercado imobiliário

Jordan, Birkin e Evans (2012, p. 517) listam sete razões que levam as famílias a buscar novas residências. No contexto da proposta, a razão mais aderente é a que indica a influência da condição socioeconômica, em sintonia com a busca por melhor oferta de serviços (educação e transporte, por exemplo).¹⁶

16. Para um modelo que investiga diferentes estratégias dos compradores no mercado imobiliário por meio de um ABM, ver Garcia-Magariño e Lacuesta (2017). Uma alternativa, na linha desses autores, com três estratégias de mudança da família após a aquisição de novo imóvel – por preço (localização), tamanho e qualidade – também está disponível para o modelo proposto.

No mercado, os imóveis vagos (Nadalin e Iglioni, 2016), designados conforme parâmetro exógeno (*house_vacancy*), entram no mercado mensalmente. Do lado das famílias, um número pequeno, também determinado por parâmetro exógeno, entra no mercado mensalmente (*percentage_check_new_location*).

Os imóveis que entram no mercado têm seus preços de venda atualizados. O preço é dado seguindo o padrão de precificação hedônica de imóveis (Malpezzi, 2002; Rosen, 1974) e é função do seu tamanho e qualidade – que são fixos –, mas, especialmente, da sua localização, que é variável.

A localização, ou de forma mais precisa, o valor atribuído por município, é função do QLI mensal do município. O cálculo do QLI é ponderado pela população municipal de modo que o incremento no QLI é a soma dos recursos efetivamente distribuídos, de acordo com as regras de distribuição de cada simulação alternativa, dividida pelo número de habitantes corrente. Na prática, portanto, o preço dos imóveis é dado por uma parcela fixa (tamanho e qualidade) e uma variável que segue o comportamento do QLI do município da residência.

Em termos algorítmicos, para facilitar o *matching*, os imóveis com preços acima da família com maior poupança e as famílias com poupança abaixo do valor mínimo de venda saem do mercado.

Na sequência, as famílias são ordenadas por tamanho de poupança, e os imóveis, por ordem de preços. O *matching* é iniciado pela família com maior poupança que verifica o imóvel mais caro disponível (e necessariamente menor que sua poupança). O preço então é ajustado para a média entre o preço ofertado pela família e o preço requisitado pelo imóvel (calculado). Assim, a transação é realizada e o imposto de transações recolhido.

A família seguinte verifica se sua poupança é maior que o preço do imóvel seguinte, caso contrário, busca o próximo imóvel mais barato e que se encontre no limite da sua poupança. E assim sucessivamente até que não haja mais famílias ou imóveis no mercado.

3.7.8 Decisão de mudar de residência

Imediatamente após adquirir uma residência nova, a família toma a decisão de se mudar para a nova casa (ou outra que eventualmente possua) ou não. O critério é simples, se todos da residência se encontram desempregados, a família se muda para a casa mais barata, liberando a(s) residência(s) mais cara(s) para o mercado. Caso contrário, a família escolhe a residência mais cara. Ressalte-se que o preço da residência é a combinação linear de tamanho, qualidade e localização.

3.7.9 Impostos e municípios

A última etapa mensal de operacionalização do *PolicySpace* é o investimento dos impostos arrecadados durante o mês. Quatro alternativas de distribuição de recursos arrecadados mediante impostos entre os municípios estão implementadas no modelo, por meio de dois parâmetros (tabela 1).

TABELA 1
Impostos distribuídos entre as diferentes alternativas
(Em %)

Alternativas	<i>Alternative0 = True</i> FPM = <i>True</i>			<i>Alternative0 = False</i> FPM = <i>True</i>		<i>Alternative0 = True</i> FPM = <i>False</i>		<i>Alternative0 = False</i> FPM = <i>False</i>	
	Município	Estado	FPM	Estado	FPM	Município	Estado		
Consumo	0.1875	0.8125		1		1			
Trabalho		0.765	0.235	0.765	0.235	1			
ITBI	1			1		1			
Firma		0.765	0.235	0.765	0.235	1			
IPTU	1			1		1			
Critério	Localmente	Igualmente	FPM	Igualmente	FPM	Localmente	Igualmente		

Elaboração do autor.

Obs.: ITBI – Imposto sobre a Transmissão de Bens Imóveis; IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano.

Quando os dois parâmetros são verdadeiros, o processo de distribuição de recursos entre os municípios é como o observado, de maneira simplificada. A isso equivale dizer que cada município percebe os recursos arrecadados de acordo com três princípios: *i*) localmente; *ii*) de forma igualitária entre os municípios; ou *iii*) de acordo com a regra do FPM.

Localmente: ITBI e IPTU são impostos locais, cobrados pelas prefeituras municipais, embora com baixa consistência e valores (Carvalho Junior, 2009). No caso do *PolicySpace*, todo o valor arrecadado por meio do ITBI e IPTU é revertido ao município de origem. Adicionalmente, parcela do imposto sobre consumo é revertida também ao município. Isso porque o imposto “consumo” busca simplificarmente representar alguns dos conceitos embutidos no Imposto Sobre Circulação de Mercadorias (ICMS). As regras do ICMS indicam que 25% do montante arrecadado retorna aos municípios e três quartos desses, no mínimo, devem ser revertidos ao município gerador.

Igualmente: os impostos que denominamos trabalho e firma buscam replicar a arrecadação do Imposto de Renda da Pessoa Física (IRPF) e do Imposto de Renda da Pessoa Jurídica (IRPJ), e, portanto, são distribuídos pelos estados ou pela União – neste caso, igualmente entre os municípios –, ponderados pela população residente.

FPM: são deduzidos dos impostos “trabalho” e “firma” o valor de 23,5% referente à transferência para o FPM. O valor arrecadado, o FPM, por sua vez, é distribuído de acordo com sua própria regra real. Intuitivamente, isso significa, de maneira proporcional, maiores recursos para municípios menos populosos, ou mais do que igualmente, do ponto de vista da distribuição de recursos.

Operacionalmente, dada a especificidade dos coeficientes de distribuição do FPM que variam de estado para estado, capital e interior, optou-se por retirar dos dados reais a proporção observada de distribuição de recursos e utilizar essa proporção como regra de distribuição.

As alternativas, conforme explicitadas na tabela 1, implicam opções sobre a forma como os recursos são distribuídos:

- uma porção localmente, outra igualmente e uma terceira parcela de acordo com as regras do FPM;
- uma parcela igualmente e outra de acordo com as regras do FPM;
- inteiramente no município, localmente; ou
- de forma igualitária, sempre ponderada pela população.

Se considerada a visão de que há recorte espacial artificial entre os municípios e de que, no conjunto da região funcional (Ahrend *et al.*, 2014), ou ACPs, a economia é única uma vez que os cidadãos transitam livremente entre os municípios e não há distinção entre município de trabalho e município de residência, então, de forma normativa, pode-se sugerir que a opção de distribuição igualitária acrescida das regras do FPM é ótima. De um lado, permite aos trabalhadores que usufruam dos impostos arrecadados por sua produção ou consumo, independente do município de residência. De outro, distribui de forma progressiva recursos, por meio do FPM, de modo que regiões mais pobres, com QLI mais baixo, possam atingir patamares mais altos de qualidade de vida. O capítulo 5 simula exatamente se esse seria o caso para esta proposta.

BOX 2

Operacionalização da distribuição de recursos arrecadados de impostos

```
# Intuitivamente, quando há FPM a distribuir, retira-se a porção FPM dos impostos
firma e trabalho e distribui. Na sequência, retira-se a porção igual, distribui
igualmente, ponderada pela população, e investe a porção local. Quando esta última
porção local não se aplica, ela é novamente recolhida e distribuída igualmente.
Quando a distribuição é toda local, a operação é feita somente no próprio município.
Quando a distribuição é toda igualmente, os recursos são todos coletados dos
municípios e redistribuídos.

Função: invest_taxes
# Função chamada ao fim de cada mês no módulo simulation.py
Para cada município entre os municípios da simulação:
    Coleta a população (t - 1)
    Realiza contagem da população e atualiza população
    Coleta população corrente (t)
Se ALTERNATIVO0 e FPM_DISTRIBUTION são verdadeiros:
    Chama função distribute_fpm
Senão e ALTERNATIVO0 é verdadeiro:
    Chama função locally
Senão e FPM_DISTRIBUTION é verdadeiro:
    Chama função distribute_fpm (com parâmetro: False)
Senão:
    Chama função equally

Função: distribute_fpm
Para cada município entre os municípios da simulação:
    Coleta as parcelas relativas ao FPM e à porção igualitária (o município
retira de seus cofres e envia para a centralização)
    # No âmbito de cada município, as parcelas relativas ao FPM são retiradas,
conforme o percentual dos impostos referentes a trabalho e firma e retornadas somadas.
    # As parcelas referentes à porção igualitária é, em seguida, retirada dos
impostos sobre consumo, trabalho e firma
O valor total do FPM então é distribuído de acordo com a proporção estadual do
FPM realmente observada para aquele ano.
Chama-se a função equally com as porções referentes aos impostos de consumo,
trabalho e firma
Se parâmetro loc é verdadeiro:
    Chama a função locally
Senão:
    Chama a função equally, com parâmetro clean=verdadeiro

Função: locally
Para cada município entre os municípios da simulação:
    Atualizam-se os QLI, utilizando-se os valores de ITBI e IPTU. Em seguida,
arquivam-se os dados e os valores em caixa tornam-se nulos.

Função: equally
Se o valor passado como parâmetro é vazio:
    Para cada município
        Recolhem-se os valores restantes no caixa do município
Para cada município
    Distribui de forma proporcional à população. Em seguida, arquivam-se os
valores e o valores em caixa torna-se nulo.
```

Elaboração do autor.

4 OPERACIONALIZAÇÃO

Dado que a proposta do *PolicySpace* é constituir-se como plataforma ampla de análise *ex ante* de políticas públicas, mais de uma alternativa para rodar as simulações estão disponíveis.

A chamada principal – `<python main.py run>` – roda a simulação uma vez, para uma ACP, com os parâmetros configurados no modo padrão, ou com qualquer outra configuração de parâmetros desejada.

Inúmeras vezes [opção: `-n X`]: adicionalmente, é possível escolher um número de vezes (X) para rodar o modelo, de modo que a variação derivada da estocasticidade seja incorporada. Os resultados são apresentados graficamente como médias dos resultados, além de cada resultado individual. O padrão é uma simulação apenas.

Inúmeros processadores [opção: `-c Y`]: além disso, é possível escolher o número de processadores (*cores*) a ser utilizado (Y). O padrão é a utilização de todos os processadores da máquina. Desse modo, o exemplo `<python main.py -c 2 -n 100 run>` processa cem simulações, utilizando-se de dois processadores e dos parâmetros padrões escolhidos.

Análise de sensibilidade [*sensitivity*]: cumulativamente, a análise de sensibilidade pode ser feita para parâmetros booleanos (*True/False*) ou numéricos, especificando o nome do parâmetro, o valor de início, o valor final e o número de intervalos. Por exemplo: `<python main.py -c 2 -n 4 sensitivity ALPHA:0:1:7>`, simularia o programa *main.py* quatro vezes para cada um dos sete intervalos de *ALPHA*, de 0 a 1, utilizando dois processadores. Ou seja, um total de 28 vezes. Para valores booleanos, basta digitar, por exemplo: `<python main.py sensitivity WAGE_IGNORE_UNEMPLOYMENT>`, para simular uma vez verdadeiro, uma vez falso.

Inúmeras ACPs [*acps*]: dada a construção do *PolicySpace*, as ACPs funcionam de modo individual, qual seja, as viagens, as mudanças e a interação ocorrem somente entre os municípios da própria ACP. O comando `<python main.py acps>` simula, de forma sucessiva, cada uma das alternativas de ACPs, de modo que se tenha o conjunto de dados referentes a todas as ACPs. É possível listar as áreas a serem excluídas da simulação.

Alternativamente, os parâmetros também permitem a simulação com mais uma ACP de forma simultânea com todos os municípios da ACP de Sorocaba e os da ACP de São José do Rio Preto, por exemplo. Entretanto, nesses casos, os agentes são livres e podem, portanto, realizar viagens cotidianas entre regiões muito distantes, tornando o cenário menos realista.

Distribuições [distributions]: finalmente, a implantação `<python main.py distributions>` permite que se realizem as quatro alternativas para a distribuição de impostos, conforme descrito na subsecção 3.7.9: impostos e municípios.

Por fim, uma versão cuja interface possa ser realizada por meio de um navegador também está implementada. Nesse caso, a seleção de alternativas de simulação e parâmetros bem como os resultados são apresentados por meio de uma página *web*, via navegador. Essa possibilidade amplia o acesso de possíveis usuários que não se sintam capazes de operar a programação diretamente, pelo *Terminal Python*.

5 DADOS DE SAÍDA

A produção de dados de saída é customizada nos parâmetros da simulação de modo a salvar apenas os arquivos necessários e não produzir resultados em demasia. No modo padrão, são salvos a configuração de parâmetros utilizada e os gráficos de indicadores médios para o período simulado ditos gerais, quais sejam:

- consumo médio das famílias;
- nível médio de preços;
- valores médios do QLI;
- número médio de trabalhadores por firmas;
- recursos financeiros médios disponíveis para as famílias;
- capital das firmas em termos absolutos;
- lucro médio das firmas;
- PIB em valores absolutos e em porcentagem de crescimento;
- índice de Gini médio;
- inflação mensal;
- desemprego médio; e
- total arrecadado por tipo de imposto.

Na configuração de gráficos discriminados por municípios, as informações disponíveis são: *i*) PIB; *ii*) Gini; *iii*) valores residenciais; *iv*) PIB *per capita*; *v*) população; *vi*) QLI; *vii*) total de impostos arrecadados; *viii*) desemprego; e *ix*) evolução da demanda por transportes.

Além disso, os valores são salvos em tabelas em formato CSV, separados por ponto e vírgula para os números médios, mês a mês e para cada um dos municípios separadamente. Nesse caso, salvam-se as informações referentes a:

- demanda por transporte total dos habitantes do município;
- população;
- PIB;
- Gini municipal;
- valor médio dos imóveis municipais;
- desemprego municipal;
- QLI municipal;
- PIB *per capita*; e
- arrecadação de impostos para cada um dos impostos presentes no modelo (total, consumo, propriedade, transações imobiliárias, firmas, trabalho e transferências de FPM).

Adicionalmente, são plotadas em figuras espaciais sete informações localizadas e normalizadas para o conjunto da amostra:

- balanço final das empresas;
- número de empregados final das empresas;
- valores das residências finais;
- número de membros da família final;
- lucros das empresas no último mês da simulação;
- impostos pagos pelas empresas também no último mês; e
- poupança das famílias no mês final.

Por fim, mais cinco outros arquivos de dados podem ser selecionados e salvos mês a mês ou trimestral ou anualmente (famílias, agentes e firmas, com custo computacional maior), conforme descrito a seguir.

- Firmas: ID, município, endereço (longitude e latitude), balanço financeiro total, número de empregados, quantidade em estoque, quantidade produzida, preços, quantidade vendida, receitas, lucros, salários pagos.
- Agentes: ID, gênero, endereço (longitude e latitude), idade, qualificação, ID da firma (quando for o caso), ID da família, recursos financeiros, consumo acumulado, distância do trabalho.
- Agentes que morrem ao longo da simulação constituem base em separado contendo as mesmas variáveis (porém com interrupção de atualização das variáveis dinâmicas).

- Residências: ID, endereço (longitude e latitude), superfície, preços, ID da família ocupante (quando for o caso), município.
- Famílias: ID, preço da casa corrente, município corrente, poupança, número de membros da família, estratégia de consumo mensal.

REFERÊNCIAS

AHREND, R. *et al.* **What makes cities more productive?** Evidence on the role of urban governance from five OECD countries. Paris: OECD Publishing, 2014. (OECD Regional Development Working Papers, n. 5).

AXTELL, R. **Endogenous firms and their dynamics.** Fairfax: George Mason University, 2013. Disponível em: <<http://www.acefinmod.com/docs/esrc/axtell-firms.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2016.

BERGMANN, B. R. A microsimulation of the macroeconomy with explicitly represented money flows. **Annals of Economic and Social Measurement**, v. 3, n. 3. p. 475-489, 1974.

BLINDER, A. S. On sticky prices: academic theories meet the real world. *In*: MANKIW, G. (Ed.). **Monetary policy.** Chicago: The University of Chicago Press, 1994. p. 117-154.

CARVALHO JUNIOR, P. H. B. de. **Aspectos distributivos do IPTU e do patrimônio imobiliário das famílias brasileiras.** Rio de Janeiro: Ipea, 2009. p. 53. (Texto para Discussão, n. 1417)

CASTRO, L. G. **Nota técnica sobre a metodologia adotada pelo Ministério da Previdência Social na extrapolação das Tábuas de Mortalidade IBGE para as idades acima de 80 anos.** Rio de Janeiro: Ministério da Previdência Social, 2015.

CERVERO, R. B. Linking urban transport and land use in developing countries. **Journal of Transport and Land Use**, v. 6, n. 1, p. 7-24, 10 Apr. 2013.

CROOKS, A. T.; HEPPENSTALL, A. J. Introduction to agent-based modelling. *In*: HEPPENSTALL, A. *et al.* (Ed.). **Agent-based models of geographical systems.** London: Springer, 2012. p. 85-105.

DOSI, G.; FAGIOLO, G.; ROVENTINI, A. 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.

FIRKOWSKI, O. L. C. F. de. Metrôpoles e regiões metropolitanas no Brasil: conciliação ou divórcio. *In*: FURTADO, B. A.; KRAUSE, C.; FRANÇA, K. (Ed.). **Território metropolitano, políticas municipais.** Brasília: Ipea, 2013. p. 21-52.

FURTADO, B. A. Modeling social heterogeneity, neighborhoods and local influences on urban real estate prices: spatial dynamic analyses in the Belo Horizonte metropolitan area, Brazil. **Netherlands Geographical Studies**, v. 385, 2009.

FURTADO, B. A.; EBERHARDT, I. D. R. 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, 2016.

FURTADO, B. A.; EBERHARDT, I. D. R.; MESSA, A. **Seal's operating manual: a spatially-bounded economic agent-based lab**. Brasília: Ipea, 2017a. (Research Report).

_____. Governance for smart cities: a spatially-bounded economic agent-based lab (Seal) to foster urban analysis and policy evaluation. *In*: AIJAZ, R. (Ed.). **Smart cities movement in BRICS**. New Delhi: ORF-Global Policy, 2017b. p. 63-71.

FURTADO, B. A.; KRAUSE, C.; FRANÇA, K. C. **Território metropolitano, políticas municipais: por soluções conjuntas de problemas urbanos no âmbito metropolitano**. Brasília: Ipea, 2013.

FURTADO, B. A.; MATION, L.; MONASTERIO, L. Fatos estilizados das finanças públicas municipais metropolitanas brasileiras entre 2000 e 2010. *In*: FURTADO, B. A.; KRAUSE, C.; FRANÇA, K. (Ed.). **Território metropolitano, políticas municipais**. Brasília: Ipea, 2013. p. 291-312.

GAFFEO, E. *et al.* Adaptive microfoundations for emergent macroeconomics. **Eastern Economic Journal**, v. 34, n. 4, p. 441-463, 2008.

GARCIA-MAGARIÑO, I.; LACUESTA, R. Agent-based simulation of real-estate transactions. **Journal of Computational Science**, v. 21, p. 60-76, 2017.

GASPARINI, C. E.; MIRANDA, R. B. Transferências, equidade e eficiência municipal no Brasil. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 36, 17 out. 2011.

GRIMM, V. *et al.* A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. **Ecological Modelling**, v. 198, n. 1, p. 115-126, 2006.

_____. The ODD protocol: a review and first update. **Ecological Modelling**, v. 221, n. 23, p. 2760-2768, 2010.

HAMILL, L.; GILBERT, N. **Agent-based modelling in economics**. Guildford: Wiley, 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2003.

_____. **Arranjos populacionais e concentrações urbanas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

JORDAN, R.; BIRKIN, M.; EVANS, A. Agent-based modelling of residential mobility, housing choice and regeneration. *In*: HEPPENSTALL, A. *et al.* (Ed.). **Agent-based models of geographical systems**. London: Springer, 2012. p. 511-524.

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

MALPEZZI, S. Hedonic pricing models: a selective and applied review. *In*: GIBB, K.; O'SULLIVAN, A. (Ed.). **Housing economics and public policy**. Oxford, United Kingdom: Blackwell Science, 2002.

NADALIN, V.; IGLIORI, D. Empty spaces in the crowd: residential vacancy in São Paulo's city centre. **Urban Studies**, v. 54, n. 13, p. 3085-3100, 20 Sept. 2016.

NEUGART, M.; RICHIARDI, M. **Agent-based models of the labor market**. Moncalieri: Labor, 2012. (Working Papers, n. 125)

PEDROSO, F. F. F.; LIMA NETO, V. C. Transportes e metrópoles: um manifesto pela integração. *In*: FURTADO, B. A.; KRAUSE, C.; FRANÇA, K. (Ed.). **Território metropolitano, políticas municipais**. Brasília: Ipea, 2013. p. 195-224.

RODRIGUES, A. L. Ingovernabilidade metropolitana e segregação espacial: receita para a explosão da violência. *In*: FURTADO, B. A.; KRAUSE, C.; FRANÇA, K. (Ed.). **Território metropolitano, políticas municipais**. Brasília: Ipea, 2013. p. 53-82.

ROSEN, S. Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition. **Journal of Political Economy**, v. 84, n. 1, 1974.

ROYER, L. de O. Municípios "autárquicos" e região metropolitana: a questão habitacional e os limites administrativos. *In*: FURTADO, B. A.; KRAUSE, C.; FRANÇA, K. (Ed.). **Território metropolitano, políticas municipais**. Brasília: Ipea, 2013. p. 157-194.

SEPPECHER, P.; SALLE, I.; LAVOIE, M. **What drives markups?** Evolutionary pricing in an agent-based stock-flow consistent macroeconomic model. Paris: CEPN, 2017.

VALIDAÇÃO

Modelos são úteis somente para aquilo que foram desenhados (e, portanto, somente podem ser testados em tal escopo). Isso, no espírito da famosa e útil citação de Box e Draper (2007, p. 414, tradução nossa): “(...) todos os modelos são aproximações. Essencialmente, todos os modelos estão errados, mas alguns são úteis”.¹ E, mais do que isso, como explicitado na introdução: “um modelo é útil somente *para os fins para o qual foi construído* (Crooks e Heppenstall, 2012, p. 98, tradução nossa, grifo nosso)”.² E, ainda assim, um modelo só é útil quando verificado e validado (Manson, Sun e Bonsal, 2012).

No intuito de testar essa utilidade, o processo de avaliação inclui a calibração, verificação e validação (Manson, 2007). A primeira refere-se ao ajuste em magnitude dos parâmetros do modelo de modo que produzam resultados que se aproximem dos padrões observados empiricamente. Nesse contexto, como explicitado na introdução, a análise de sensibilidade permite, de um lado, a própria calibração e a análise de robustez e, de outro, o início das análises de alternativas de políticas. A verificação ou validação interna, por sua vez, garante que o código execute os algoritmos e as equações de acordo com o indicado pelo modelador.

Nesses momentos, podem ocorrer os “erros”, de acordo com Galán *et al.* (2009), que seriam inconsistências que ocorrem na comunicação entre a concepção, a proposta de modelagem e o desenvolvimento do programa em si. No caso da proposta, não houve distinção entre esses papéis, sendo, portanto, o potencial de geração de problemas inexistente.

Verificação, no âmbito da ciência da computação, indica que o código propriamente dito está fazendo exatamente aquilo que o programador pensa que o código está fazendo (Hamill e Gilbert, 2016). Note o leitor que não se trata de verificar se há erro na geração de resultados no programa, ou apenas se o programa funciona. Trata-se de garantir que o algoritmo, ou o pseudocódigo, ou seja, que as regras, as tomadas de decisão, os pressupostos, os passos, os critérios são os mesmos na concepção do modelador e na real execução do programa, de

1. “(...) *all models are approximations. Essentially, all models are wrong, but some are useful*”.

2. “(...) *a model is only as useful as the purpose for which it is constructed*”.

forma determinística. Verificar é garantir que os resultados sejam exatamente aqueles previstos analiticamente. Não por acaso, verificação também é chamada de validação interna.

Finalmente, a validação verifica se o modelo consegue reproduzir fatos estilizados, dado um conjunto de parâmetros (Fagiolo e Roventini, 2017). Portanto, essa etapa demonstra a consistência em relação aos dados empíricos e é requisito necessário para a análise de políticas públicas, conforme afirma Marks (2013, p. 41, tradução nossa): “embora simulações sejam úteis, no mínimo ao permitir a exploração de exercícios do tipo 'e se', análise de políticas demanda modelos de simulação descritivos e validados”.³

Validação refere-se à capacidade de capturar elementos relevantes do fenômeno modelado. Ser útil, válido, em essência, para determinada pergunta. Nesse sentido, Gräbner (2015) e Mäki (2009) argumentam que o modelo deve não somente representar a realidade, como sua forma simplificada, mas também ser semelhante a ela, no sentido em que permite espaço para exploração e conseqüentemente melhor compreensão do fenômeno modelado.⁴

See e Ngo (2012, p. 183), na linha de Zeigler (1976), propõem três categorias de validação:

- replicativa: na qual os resultados são comparados a dados reais;
- preditiva: na qual o modelo é capaz de fazer previsões acerca dos comportamentos, de acordo com a teoria; e
- estrutural: na qual, além de reproduzir comportamentos, replicam-se também os mecanismos que produzem tal resultado.

Note que somente a validação replicativa pode não ser suficiente. Gräbner (2015) sugere que o modelo pode gerar estados comparáveis aos observados usando mecanismos incorretos, ou fazer previsões erradas utilizando-se dos mecanismos corretos.

De maneira mais simples, “de um ponto de vista matemático, validação é o processo de assegurar se uma dada quantidade de interesse de um sistema físico se encontra dentro de limites de tolerância – determinados de acordo com o uso do modelo” (NRC, 2012, p. 52, tradução nossa).⁵ De fato, Gatti *et al.* (2011) nomeiam seu capítulo de validação como “validação empírica” e buscam uma “representação aceitável” do sistema observado (Gatti *et al.*, 2011, p. 86).

3. “Although demonstrative simulation models are useful, not least at performing ‘what if’ exercises of exploration of different models, policy analysis requires validated, descriptive simulation models”.

4. Mäki (2009) chama esses modelos de *surrogates*, em contraposição a modelos substitutos, cujo objetivo é atingir os resultados, independentemente da compreensão dos mecanismos.

5. “From a mathematical perspective, validation is the process of assessing whether or not the quantity of interest (QOI) for a physical system is within some tolerance – determined by the intended use of the model”.

Essa representação aceitável dos resultados, entretanto, deve ser livre de “artefatos”, quais sejam alterações dos resultados, dadas a partir de pressupostos acessórios; estes últimos podem parecer irrelevantes, mas geram mudanças significativas (Galán *et al.*, 2009). Nesse sentido, é necessário que o modelador tenha claro quais pressupostos são responsáveis por quais resultados.

Alternativamente, Moss (2008) defende também a validação por meio do que ele chama de *companion modelling*, descrito pela escola francesa, que consulta especialistas (e *stakeholders*) tanto no processo quanto na validação de modelagem baseada em agentes (*agent-based modeling* – ABM). Mais recentemente, essa mesma vertente é descrita como *participatory modeling* (Bommel *et al.*, 2014; Henly-Shepard, Gray e Cox, 2015).

Uma visão um pouco mais ampla para validação deve garantir a razoabilidade ou a adequação de três eixos: *i*) os dados de entrada; *ii*) o processo de desenvolvimento; e *iii*) a qualidade dos dados descritivos resultantes, em relação aos dados empíricos observados.

No caso desta proposta, os dados de entrada são obtidos dos próprios dados empíricos de fontes oficiais; o processo de desenvolvimento e os seus pressupostos buscam respaldo na literatura e estão descritos no capítulo 2. Na sequência, apresentam-se alguns resultados, seu comportamento e sua contraposição aos dados empíricos disponíveis, além de alguns testes comparativos para o conjunto das áreas de concentração de população (ACPs). Ainda, complementarmente, o capítulo 4 apresenta análises de sensibilidade que reforçam a ideia de robustez, ao mesmo tempo que iluminam aspectos do fenômeno estudado.

1 ILUSTRAÇÃO: COMPORTAMENTO MACROECONÔMICO

A proposta não possui mercado de créditos ou modelagem de um sistema de juros. A análise macroeconômica, portanto, é apenas ilustrativa e serve como parâmetro de razoabilidade do modelo. Um modelo macroeconômico completo poderia fazer a validação de acordo com a proposta por Guerini e Moneta (2017).

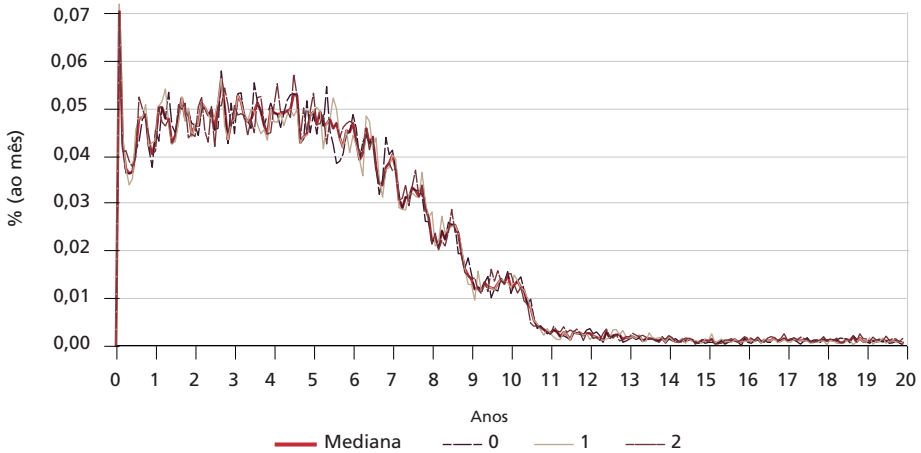
A inflação, por exemplo, é mais comportada do que aquela observada no caso real com média mensal de 0,02%, com desvio-padrão também de 0,02% durante o período de vinte anos. Tipicamente, na simulação observa-se maior variabilidade na primeira metade do período analisado e comportamento próximo de zero no segundo período. Para o caso da ACP de Belo Horizonte, com 2% da população, veja o gráfico 1 para a inflação e o gráfico 2 para o índice de preços.

Ainda assim, a análise de sensibilidade nos permite verificar como o comportamento dos preços é influenciado por alguns parâmetros, tais como o *markup*, por exemplo. Note como valores mais altos de *markup* levam a uma

maior inflação nos primeiros anos, porém, com redução nos anos finais maior do que níveis mais baixos de *markup* (gráficos 3 e 4).

GRÁFICO 1

ACP de Belo Horizonte: estimativas da inflação mensal

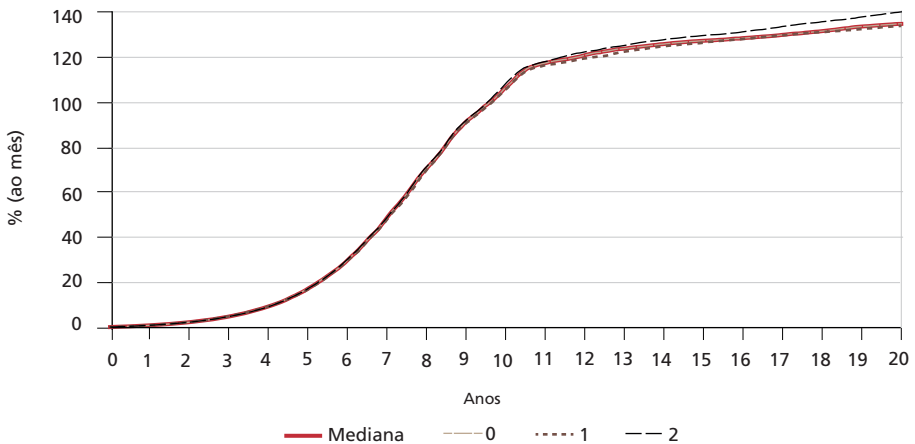


Elaboração do autor.

Obs.: Dados para 2% da população e parâmetros padrões.

GRÁFICO 2

ACP de Belo Horizonte: estimativas da evolução do índice de preços



Elaboração do autor.

Obs.: Dados para 2% da população e parâmetros padrões.

GRÁFICO 3

ACP de Brasília: análise de sensibilidade com parâmetro *markup*¹ – estimativas da inflação mensal

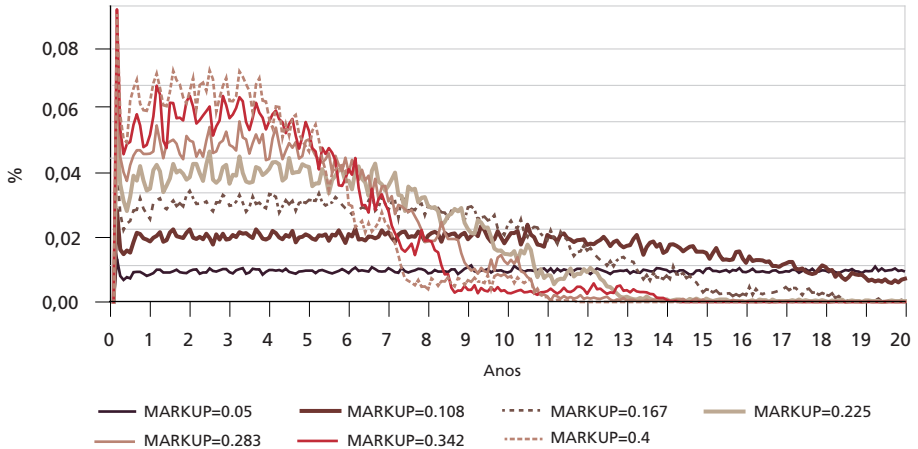
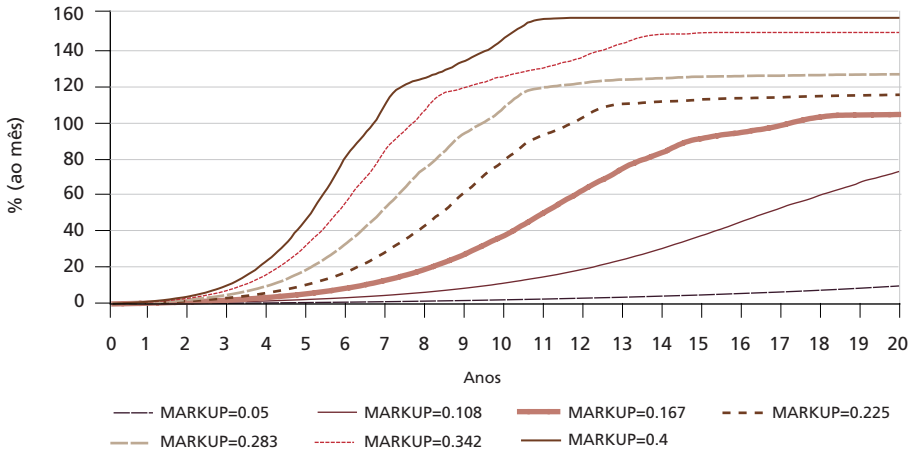


GRÁFICO 4

ACP de Brasília: análise de sensibilidade com parâmetro *markup*¹ – estimativas do índice de preços



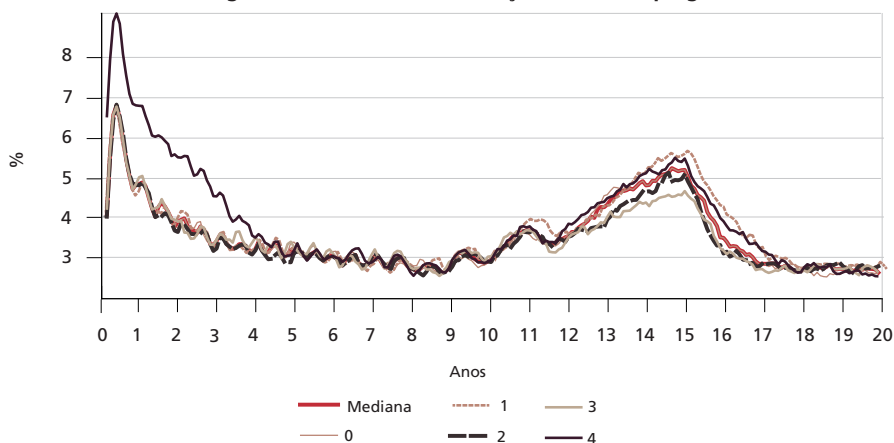
O desemprego na simulação é bem mais detalhado do que as informações oficiais nos permitem verificar. Na simulação, o desemprego é mensal e por

municípios, com observação de valores significativamente diferentes entre a sede (por construção com maior número de empresas empregadoras) e outros municípios. De fato, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) passou a divulgar, a partir de janeiro de 2012, desemprego desagregado para vinte regiões metropolitanas, municípios das capitais e Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) de Teresina.

Os resultados das simulações indicam que o desemprego se mantém de forma relativamente consistente, variando entre 3% e 10% ao longo do período, com alguma variabilidade relevante (gráfico 5).

GRÁFICO 5

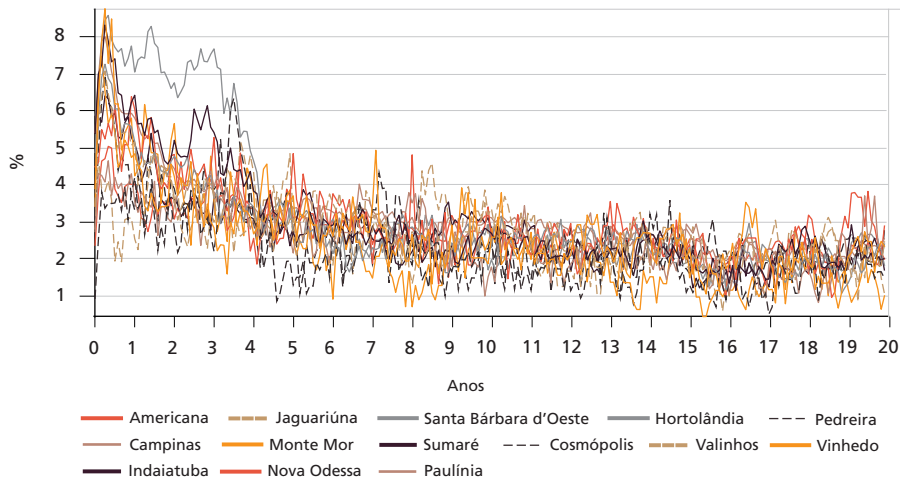
ACP de Porto Alegre: mediana e cinco simulações de desemprego



No conjunto dos municípios, há maior variabilidade e manutenção do desemprego em patamares maiores entre os municípios menos populosos. O gráfico 6 ilustra esse padrão para o caso de Campinas, e o gráfico 7, para o caso de Belém.

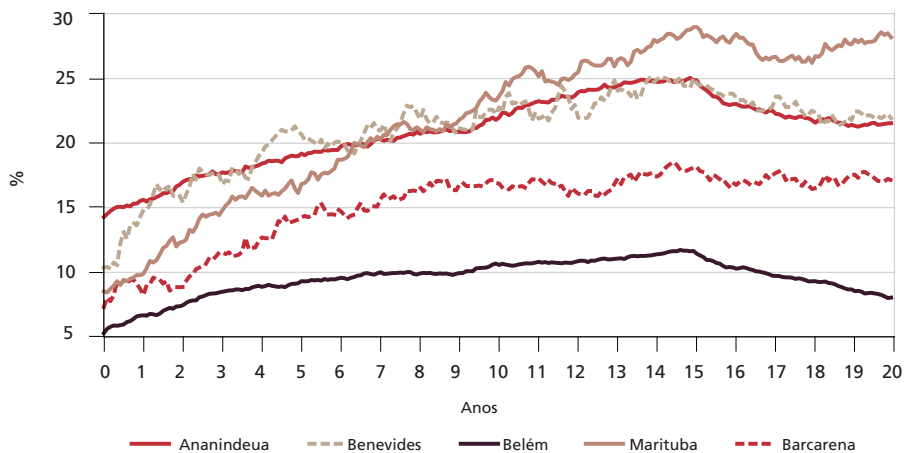
Alternativamente, o mapa de empregos (figura 1) evidencia que não somente há menos empresas nos municípios periféricos, como tais empresas apresentam relativamente menos empregados que as demais (bolinhas roxas nas manchas urbanas isoladas e a oeste da mancha principal).

GRÁFICO 6
ACP de Campinas: desemprego por município



Elaboração do autor.
 Obs.: Dados para 2% da população e parâmetros padrões.

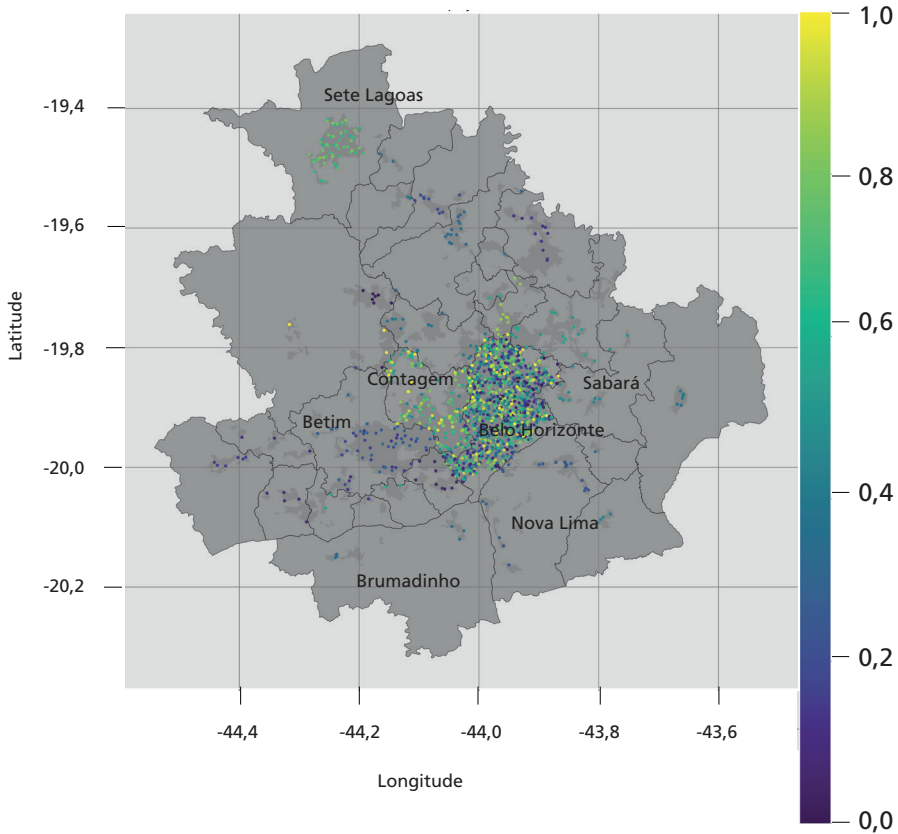
GRÁFICO 7
ACP de Belém: evolução do desemprego regional



Elaboração do autor.
 Obs.: Dados para 2% da população.

FIGURA 1

ACP de Belo Horizonte: espacialização normalizada dos empregos, por firmas
(Em número de empregados padronizado)



Elaboração do autor.

Obs.: 1. Dados para 2% da população.

2. As áreas em cinza escuro são manchas urbanas oficiais.

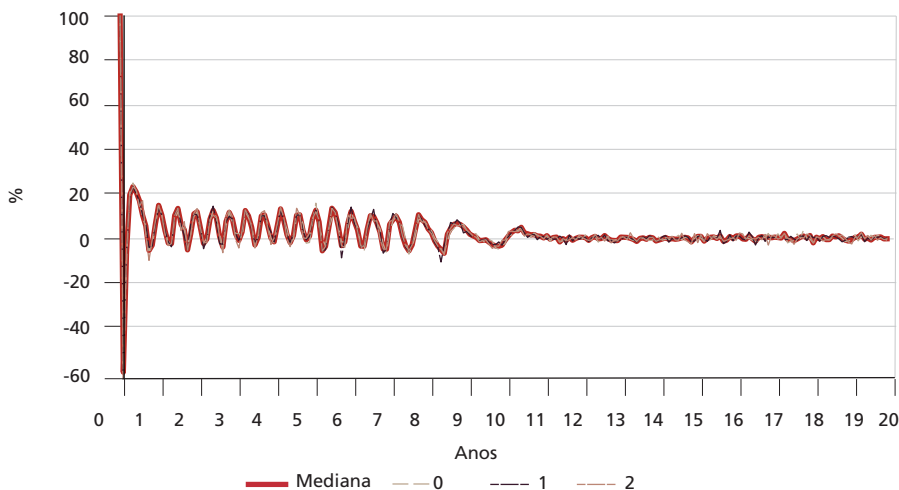
1.1 Ilustração: produção

Conforme exposto anteriormente, a análise macroeconômica é apenas ilustrativa. Todavia, o crescimento da produção é relevante para a análise central do problema de pesquisa, qual seja, a análise do comportamento dos impostos e sua cobrança nos mercados de trabalho, de bens e imobiliário. Esta subseção avalia os resultados simulados de crescimento do produto interno bruto (PIB) e a proporção dos impostos em relação ao PIB e ao total.

O PIB brasileiro, a partir dos anos 2000, apresenta crescimento no período até 2009, seguido por recessão nos anos recentes. O *PolicySpace* simula um crescimento

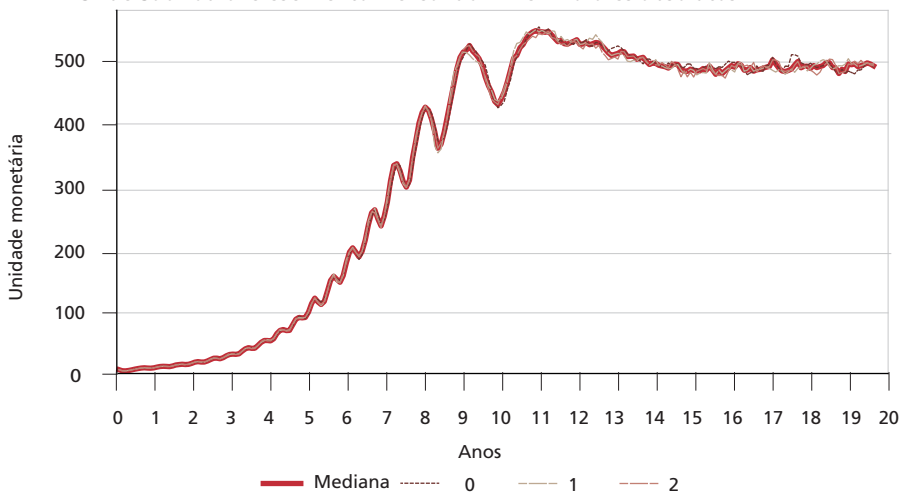
também mais vigoroso nos primeiros dez anos que depois se arrefece (gráficos 8 e 9). O gráfico 10 ilustra para o caso de Belém a diferença entre os PIBs municipais periféricos, em relação às capitais.

GRÁFICO 8
ACP de São Paulo: variação mensal do PIB



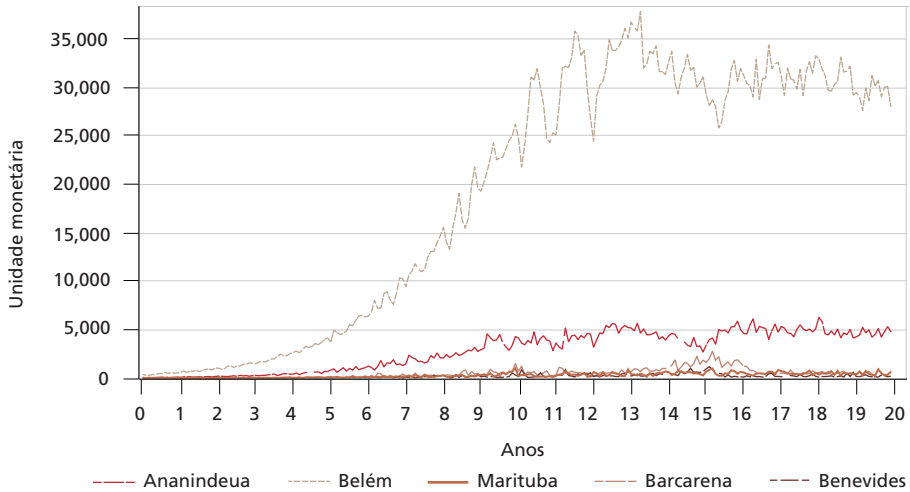
Elaboração do autor.
 Obs.: Dados para 2% da população, três simulações e parâmetros padrões.

GRÁFICO 9
ACP de São Paulo: crescimento mensal do PIB em valores absolutos



Elaboração do autor.
 Obs.: Dados para 2% da população, três simulações e parâmetros padrões.

GRÁFICO 10
ACP de Belém: evolução do PIB municipal



Elaboração do autor.
Obs.: Dados para 2% da população.

2 IMPOSTOS

O modelo comporta a simulação de cinco grandes categorias de impostos. A seguir, descrevem-se os grandes grupos e apresenta-se a tabela de referência com os dados da literatura e aqueles calculados a partir de dados da Secretaria do Tesouro Nacional (STN).

O Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana (IPTU) é de fácil e imediata aplicação. Entretanto, não comporta falhas de arrecadação, generalizando a cobrança de forma imediata e ampla a todas as residências simuladas. Na prática, as prefeituras encontram dificuldade de cobrança desse imposto, com heterogeneidades relevantes entre algumas cidades mais populosas que de fato cobram o imposto e outras cidades – maiores e menores – que o cobram de forma mais errática e esparsa (Carvalho Junior, 2016). Nada impede, no entanto, que essa heterogeneidade seja objeto de detalhamento e refino em aplicações posteriores do modelo.

Ressalve-se que, dado que o imposto é independente da renda das famílias, no caso em que as famílias não tenham renda disponível no momento da cobrança, o imposto não é efetivado. Essa implementação é compatível com a heterogeneidade observada da cobrança e da capacidade de pagamento efetivo das famílias.

O Imposto sobre Transmissão de Bens Imóveis (ITBI) é cobrado no momento da transação imobiliária e também é generalizado, com capacidade total de cobrança. Tanto o ITBI quanto o IPTU são integralizados no município na parametrização padrão.⁶

Três outros grandes grupos simplificados completam o sistema tributário.

- 1) *Labor*: referente à cobrança da renda do trabalhador, na tentativa de buscar semelhança ao Imposto de Renda sobre Pessoa Física (IRPF), e que, segundo Afonso, Soares e Castro (2013), corresponde a 4,71% do total em forma de salários e mais 7,07% em forma de renda e ganhos, representando 11,78% do total arrecadado (tabela 1).
- 2) *Firm*: referente à tributação sobre o pagamento da folha de salários dos empregadores (20,3%) adicionado aos impostos sobre a renda de empresas (11,51%).
- 3) *Consumption*: referente à tributação sobre mercadorias, serviços e bens que, em conjunto, significam 44,98% do total arrecadado, ainda de acordo com Afonso, Soares e Castro (2013).

TABELA 1
Proporções dos impostos municipais em relação ao PIB e total coletado

Em relação ao PIB	Afonso, Soares e Castro (2013)	Simulado	STN
<i>Labor</i>	0,0024	0,0105	
<i>Firm</i>	0,0065	0,0173	
<i>Consumption</i>	0,0093	0,0334	
<i>Property</i> (IPTU)	0,0007	0,0056	0,0044
<i>Transaction</i> (ITBI)	0,0008	0,0012	0,0012
Arrecadação total	0,0207	0,0679	0,0869
FPM		0,0534	0,0184
Em proporção ao total			
<i>Labor</i>	0,1178	0,1522	
<i>Firm</i>	0,3181	0,2595	
<i>Consumption</i>	0,4498	0,4819	
<i>Property</i> (IPTU)	0,0356	0,0885	0,0919
<i>Transaction</i> (ITBI)	0,0399	0,0179	0,0119
FPM		0,4303	0,4120

Fonte: Afonso, Soares e Castro (2013, p. 12) e STN.

Elaboração do autor.

Obs.: FPM – Fundo de Participação dos Municípios.

6. Alternative0 e FPM_distribution iguais a Verdadeiro.

Adicionalmente, tem-se o FPM que é calculado a partir de 23,5%⁷ do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e também de 23,5% do Imposto de Renda (IR). No *PolicySpace*, a alíquota é aplicada sobre *Labor* e *Firm*. O FPM não é estimado por Afonso, Soares e Castro (2013), mas está disponível como transferências nos dados da STN.

Os valores simulados e os calculados a partir dos dados da STN da tabela 1 referem-se aos 333 municípios constantes das 46 ACPs utilizadas, com média de três simulações e 2% da população para o conjunto de todas as ACPs.

O objetivo principal da simulação no que diz respeito aos impostos é obter proporção adequada em relação ao PIB. Ou seja, a proporção tributada da economia é compatível com a observada empiricamente. Nesse sentido, observam-se os patamares apresentados por Afonso, Soares e Castro (2013), mas também se acompanham os resultados reais – obtidos por meio da STN – que compõem exatamente os mesmos municípios da simulação.

De fato, os números demonstram que a simulação apresenta arrecadação tributária bastante similar aos dados reais, com cerca de 7% do PIB. Adicionalmente, o IPTU e o ITBI comportam-se de maneira muito próxima aos valores observados.

Em relação à proporção de cada imposto entre as cinco classificações utilizadas, também obtêm-se números similares aos observados, com prevalência na composição dos impostos sobre o consumo e participação baixa do IPTU e ITBI. Os valores sobre os trabalhadores encontram-se próximos aos da literatura. O FPM recolhido na simulação também é compatível à proporção observada, de acordo com a STN.

Feita essa comparação, entende-se que os resultados são suficientemente similares em proporção aos observados de modo que possam levar a conclusões indicativas para o conjunto de impostos descritos no modelo.

3 VALIDAÇÃO DAS ACPs

A comparação do conjunto das ACPs foi feita por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov (KS). Este teste compara a igualdade entre as distribuições de probabilidade acumuladas, utilizando como estatística de teste a maior distância entre elas. Assim, o teste verifica se duas amostras independentes podem ser de uma mesma distribuição contínua (Massey, 1952; Smirnov, 1939).

A rejeição da hipótese nula de que as duas amostras pertencem à mesma distribuição ocorre para p -valores menores que 0,05, a 5%. Os p -valores maiores que 0,05, portanto, indicam que não se pode rejeitar que as amostras vieram da mesma

7. A alíquota passa a vigorar em 23,5% a partir de setembro de 2007, de acordo com a Emenda Constitucional nº 55. Para efeitos de simulação, a alíquota é de 23,5% durante todo o período.

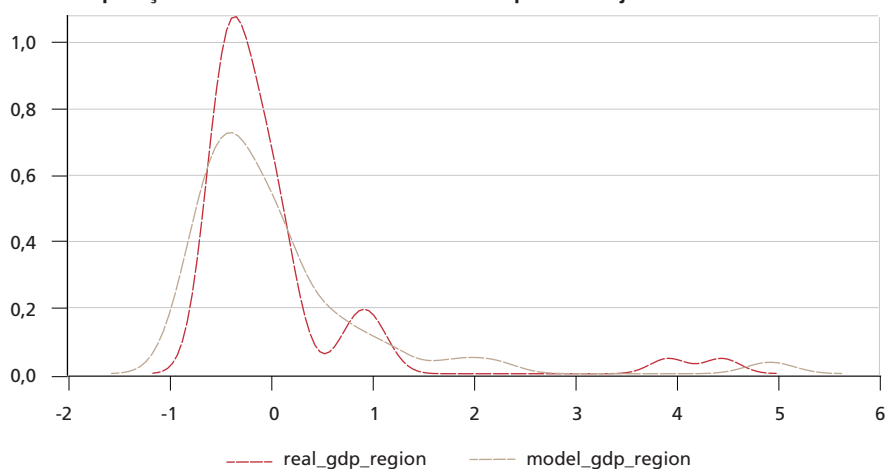
distribuição. Adicionalmente, a análise visual foi feita por meio da sobreposição das distribuições normalizadas.

Os resultados são derivados do conjunto de todas as 46 ACPs, com 2% de população, calculados a partir da média de três simulações para cada ACP, com os parâmetros padrões.⁸ Os dados observados provêm da STN e estão organizados para as 46 ACPs.

A compatibilidade de dados nos permitiu comparar a arrecadação tributária, o PIB, o montante do FPM e os impostos sobre a propriedade (IPTU) e as transações imobiliárias (ITBI). O PIB apresenta um p -valor de 0,32 e certa verossimilhança entre o observado e a simulação. Os dados reais, entretanto, indicam maior concentração do PIB entre poucas ACPs, com distribuição mais alongada, se comparados aos dados simulados (gráfico 11). A arrecadação tributária total, os impostos sobre propriedade e as transações e o FPM, entretanto, apresentam-se bastante ajustados na comparação entre dados reais e dados simulados, com valores altos de p -valor para arrecadação total, FPM e IPTU e um pouco mais baixo para o ITBI (gráfico 12).

GRÁFICO 11

Comparação entre PIB observado e simulado para o conjunto das ACPs



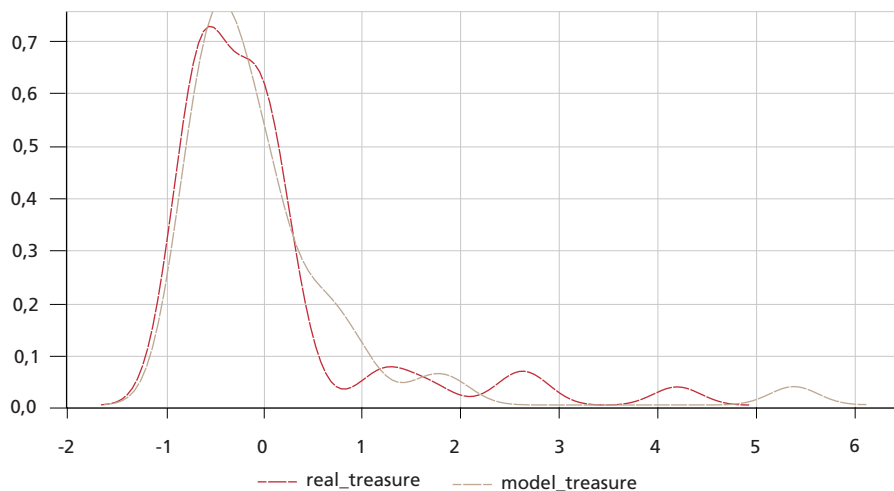
Elaboração do autor.

8. Para mais informações, ver subseção 3.7 sobre submodelos no capítulo 2.

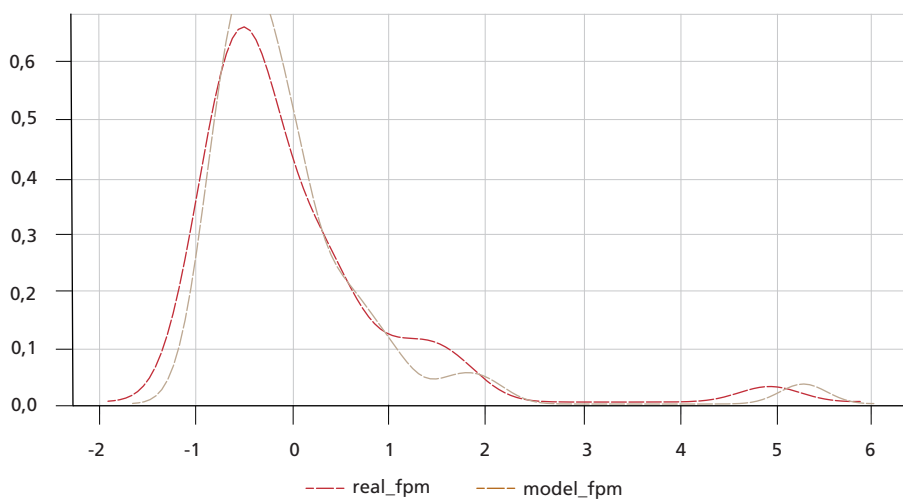
GRÁFICO 12

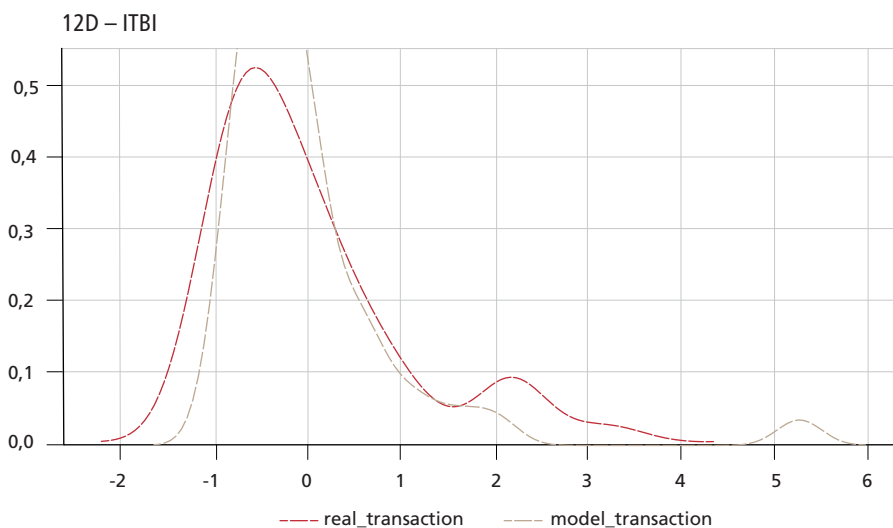
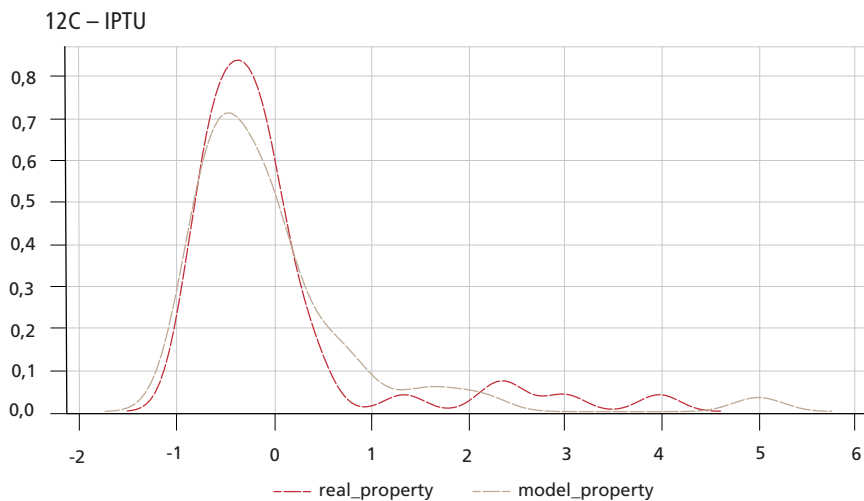
Comparação entre valores observados e simulados para o conjunto das ACPs

12A – Arrecadação tributária total



12B – FPM





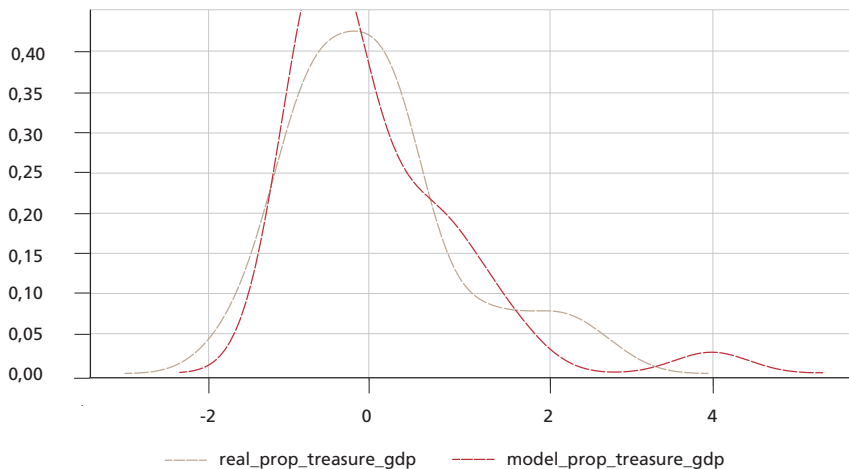
Elaboração do autor.

A comparação dos tributos em relação ao PIB apresenta similaridade um pouco menor. A proporção da arrecadação tributária total apresenta distribuição semelhante entre a real e a simulada, com os resultados observados ligeiramente mais inclinados à direita e significativos no teste KS (gráfico 13). As proporções do FPM e do ITBI apresentam distribuições levemente à direita, em relação aos dados observados, o ITBI com p -valor limítrofe em 0,0583.

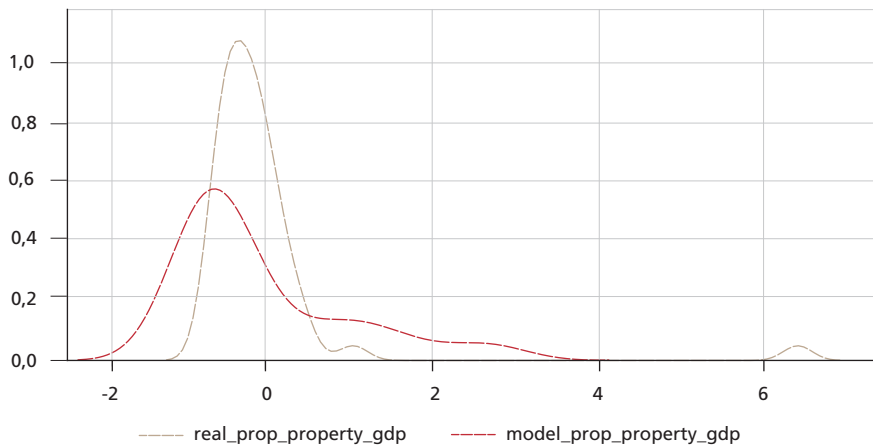
GRÁFICO 13

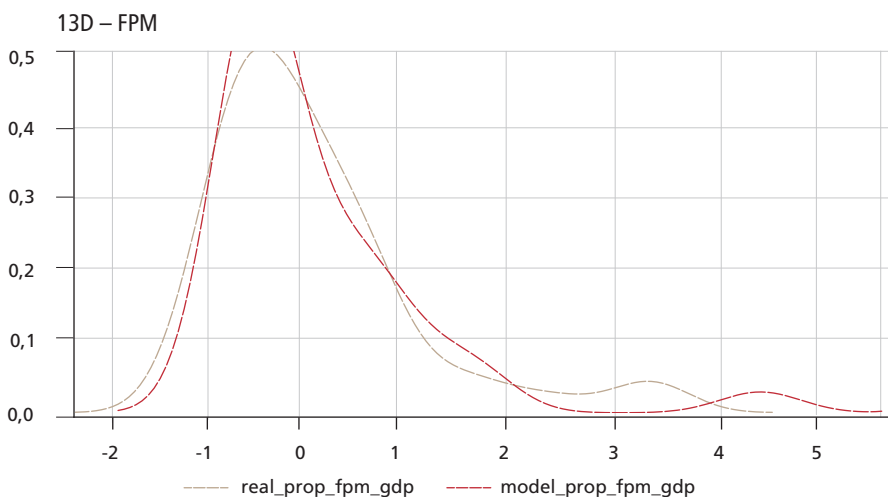
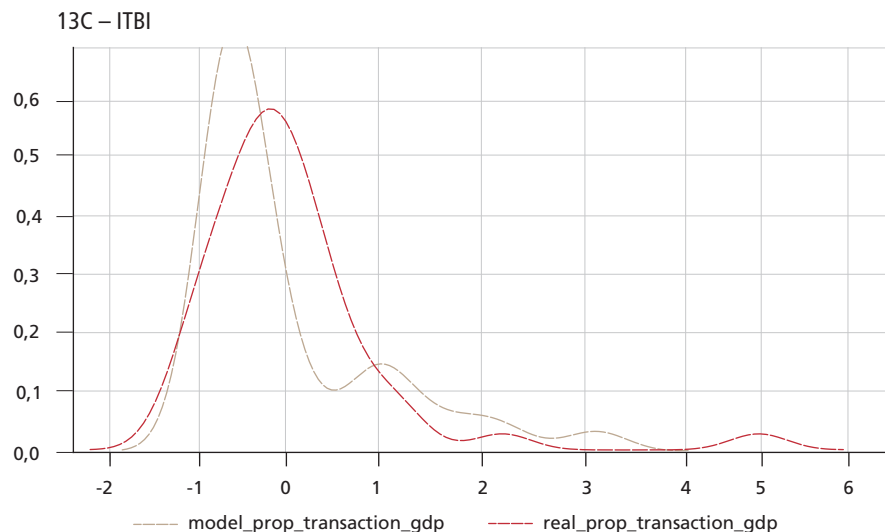
Comparações entre proporções observadas e simuladas em relação ao PIB para o conjunto das ACPs

13A – Arrecadação tributária total



13B – IPTU





Elaboração do autor.

O IPTU não se apresentou significativo no teste, indicando que possivelmente as distribuições observadas e simuladas são diferentes. Fundamentalmente, note que a distribuição alongada dos dados observados revela a concentração da cobrança em ACPs específicas, enquanto os dados simulados, achatados, explicitam a presença da regra de cobrança do tributo de forma mais generalizada entre as ACPs.

Mais uma vez, dada a heterogeneidade dos municípios e das ACPs para o caso brasileiro e dado o objetivo da proposta, qual seja permitir indicações acerca do efeito, direção e ordem de magnitude de alternativas de políticas públicas fiscais, acredita-se que o *PolicySpace* possa ser considerado validado.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, J. R. R.; SOARES, J. M.; CASTRO, K. P. de. **Avaliação da estrutura e do desempenho do sistema tributário brasileiro**: livro branco da tributação brasileira. Brasília: BID, 2013.
- BOMMEL, P. *et al.* A further step towards participatory modelling: fostering stakeholder involvement in designing models by using executable UML. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 17, n. 1, p. 6, 2014.
- BOX, G. E. P.; DRAPER, N. R. **Response surfaces, mixtures, and ridge analyses**. Hoboken: John Wiley and Sons, 2007.
- CARVALHO JUNIOR, P. H. B. de. A administração tributária do IPTU e seu impacto na efetivação do estatuto da cidade. *In*: COSTA, M. A. (Org.). **O estatuto da cidade e a habitat III**. Brasília: Ipea, 2016. p. 207-232.
- CROOKS, A. T.; HEPPENSTALL, A. J. Introduction to agent-based modelling. *In*: HEPPENSTALL, A. *et al.* (Ed.). **Agent-based models of geographical systems**. London: Springer, 2012. p. 85-105.
- FAGIOLO, G.; ROVENTINI, A. Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models redux: new developments and challenges ahead. **Journal of Artificial and Social Simulation**, v. 20, n. 1, 2017.
- GALÁN, J. M. *et al.* Errors and artefacts in agent-based modelling. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 12, n. 1, 31 Jan. 2009.
- GATTI, D. D. *et al.* **Macroeconomics from the bottom-up**. London: Springer, 2011.
- GRÄBNER, C. **Methodology does matter**: about implicit assumptions in applied formal modelling – the case of dynamic stochastic general equilibrium models vs agent-based models. [s.l.]: MPRA, 2015.
- GUERINI, M.; MONETA, A. A method for agent-based models validation. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 82, p. 125-141, 2017.
- HAMILL, L.; GILBERT, N. **Agent-based modelling in economics**. Hoboken: John Wiley and Sons, 2016.
- HENLY-SHEPARD, S.; GRAY, S. A.; COX, L. J. The use of participatory modeling to promote social learning and facilitate community disaster planning. **Environmental Science and Policy**, v. 45, p. 109-122, Jan. 2015.
- MÄKI, U. Missing the world: models as isolations and credible surrogate systems. **Erkenntnis**, v. 70, n. 1, p. 29-43, Jan. 2009.

MANSON, S. M. Challenges in evaluating models of geographic complexity. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, v. 34, n. 2, p. 245-260, Apr. 2007.

MANSON, S. M.; SUN, S.; BONSAI, D. Agent-based modeling and complexity. *In*: HEPPENSTALL, A. *et al.* (Ed.). **Agent-based models of geographical systems**. London: Springer, 2012. p. 125-139.

MARKS, R. F. Validation and model selection: three similarity measures compared. **Complexity Economics**, v. 2, n. 1, p. 41-61, 2013.

MASSEY, F. J. Distribution table for the deviation between two sample cumulatives. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 23, n. 3, p. 435-441, Sept. 1952.

MOSS, S. Alternative approaches to the empirical validation of agent-based models. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 11, n. 1, 31 Jan. 2008.

NRC – NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Assessing the reliability of complex models**: mathematical and statistical foundations of verification, validation, and uncertainty quantification. Washington: The National Academies Press, 2012.

SEE, L.; NGO, T. A. Calibration and validation of agent-based models of land cover change. *In*: HEPPENSTALL, A. *et al.* (Ed.). **Agent-based models of geographical systems**. London: Springer, 2012. p. 181-197.

SMIRNOV, N. V. Estimate of deviation between empirical distribution functions in two independent samples. **Bulletin Moscow University**, Moscow, v. 2, n. 2, p. 3-16, 1939.

ZEIGLER, B. P. **Theory of modelling and simulation**. Hoboken: John Wiley and Sons, 1976.

CAPÍTULO 4

APLICAÇÕES E SENSIBILIDADE

Este capítulo apresenta algumas análises de sensibilidade que implicitamente se caracterizam como aplicações. Ao mesmo tempo em que se testam os parâmetros em busca daqueles que, em conjunto, levem a um modelo validado, busca-se compreender melhor a influência de cada um de forma individual na simulação como um todo.

A análise de sensibilidade pode ser caracterizada como a variação sistemática de parâmetros e regras de modo a compreender os efeitos dessas pequenas alterações nos resultados. Um modelo robusto, ao fim da análise de sensibilidade, usualmente é aquele cujo comportamento não se altera de forma significativa com a variação pequena de um parâmetro ou uma regra de comportamento. Ou, nas palavras de O'Sullivan *et al.* (2016, p. 4):¹ a análise de sensibilidade “global ou sequencialmente testa cada parâmetro no intuito de mensurar seu impacto nos resultados do modelo como um todo”.² Obviamente, exceto para aqueles modelos que contêm pontos de criticalidade, nos quais a mudança de comportamento é o esperado. Cite-se como exemplo a densidade de carros necessária para configurar decréscimo relevante de velocidade em uma via.³ Nesses casos, a modelagem baseada em agentes (*agent-based modeling* – ABM) pode contribuir com a identificação exata desse parâmetro.

Usualmente, a análise de sensibilidade inclui, além da variação dos parâmetros em si, a variação das condições iniciais e a variabilidade inerente aos processos randômicos da simulação. Como se sabe, todo processo que inclui valores randômicos (mais precisamente, pseudorrandômicos) em simulações computacionais se origina em um valor inicial, denominado *seed*, que desencadeia o processo pseudorrandômico determinístico. O modelador que deseje valores randômicos distintos para cada simulação deve permitir a variação da *seed*.

No caso do *PolicySpace*, as condições iniciais são dadas, uma vez que se originam em dados reais do ano 2000, de acordo com a descrição (ver capítulo 2).

1. O'Sullivan, D. *et al.* Strategic directions for agent-based modeling: avoiding the YAAWN syndrome. *Journal of Land Use Science*, v. 11, n. 2, p. 177-187, 3 mar. 2016.

2. "(...) which globally or sequentially tests each model parameter to measure its impact on model outcomes".

3. Ou estudos sobre avalanches, por exemplo.

Os parâmetros são testados na análise de sensibilidade (bem como algumas regras de comportamento), e a variabilidade tipicamente estocástica é testada por meio da análise de múltiplas simulações, com variações na *seed*, observando-se os resultados medianos (ver capítulo 3).

Além de a análise de sensibilidade contribuir com a validação, ela pode também contribuir no entendimento do fenômeno, ou seja, uma vez que o modelo esteja calibrado – isto é, os parâmetros estão ajustados para mimetizar uma situação real –, verificado e validado, pode-se utilizar a variação dos parâmetros para analisar respostas a perguntas do tipo “e se”. Por exemplo, imagine um modelo calibrado para determinado mercado, em tempo e espaço definidos. Se há um parâmetro que representa a alíquota de um imposto estipulado, então alterações nessas alíquotas vão gerar alterações nos resultados que podem ser comparados com os resultados anteriores. Em grande medida, esses exercícios são realizados para o caso do *PolicySpace* nos capítulos de aplicações e análise de sensibilidade deste livro.

1 DISTÂNCIA COMO CRITÉRIO DE SELEÇÃO NO MERCADO DE TRABALHO

No intuito de contribuir com a robustez e verificar se os resultados de uma simulação não são espúrios, é possível testar a presença ou a ausência de certas regras e pressupostos. Dois exemplos são descritos a seguir, e outro é apresentado na forma de aplicação no capítulo 5.

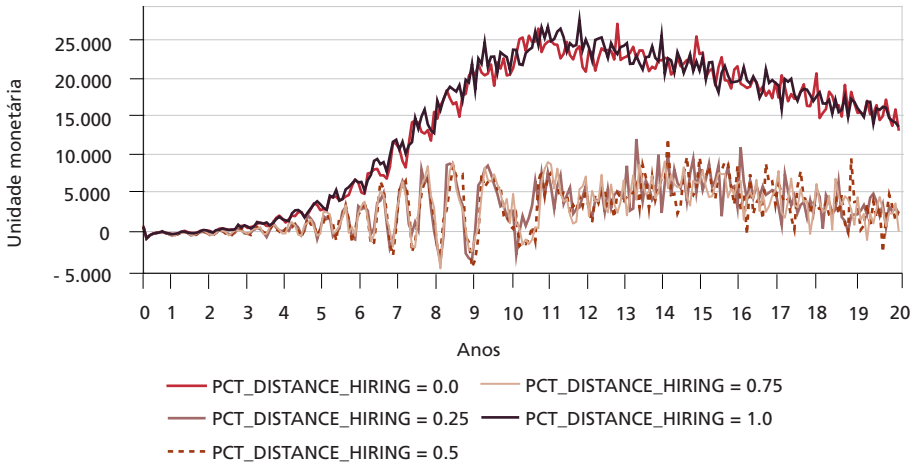
No caso do *PolicySpace*, a distância da residência do candidato a emprego na firma contratante pode ser critério utilizado no processo de seleção. Como dito anteriormente, isso se deve à maior probabilidade de candidatos se oferecerem a empregos próximos da residência, mas também se relaciona ao custo legal que as empresas brasileiras têm de se responsabilizar pelo gasto em transporte que exceda 6% do salário do empregado.

Entretanto, como a introdução desse pressuposto ao modelo é feita por intermédio de um parâmetro, *pct_distance*, que se refere ao percentual da lista de candidatos que utilizarão o critério de distância (e não o de qualificação) no processo seletivo, basta definir o valor do parâmetro como zero para que a distância ao trabalho deixe de ser considerada.

A análise de sensibilidade para o caso de Belo Horizonte, com 2% da população e média de três simulações por parâmetro testado, produziu os resultados a seguir (gráfico 1).

GRÁFICO 1

Análise de sensibilidade da regra de contratação de pessoal por critério de distância para os lucros das firmas



Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Belo Horizonte, com 2% da população, média de três simulações.

Note que o comportamento para os valores máximo e mínimo do parâmetro, ou seja, quando só se considera a distância como critério de contratação ($pct_distance = 1$), ou quando só se considera qualificação ($pct_distance = 0$), são marcadamente distintos dos resultados dos parâmetros intermediários. De fato, os resultados parecem indicar que, embora as firmas tenham maiores lucros (gráfico 1), o desemprego se mantém em patamares superiores (gráfico 2), isso leva a maior desigualdade (gráfico 3), dado que apenas poucos cidadãos estão empregados (ou porque moram próximo ou porque são mais qualificados). Com esse desajuste, a produção é menor (gráfico 4) e o *quality of life index* (QLI) fica mais baixo para ambos os extremos, porém, menor ainda para o critério exclusivamente por distância. Valores intermediários (ainda que mais próximos de um ou de outro extremo) parecem permitir maior ajuste geral na economia, gerando resultados bastante próximos entre si.

GRÁFICO 2

Análise de sensibilidade da regra de contratação de pessoal por critério de distância para o desemprego

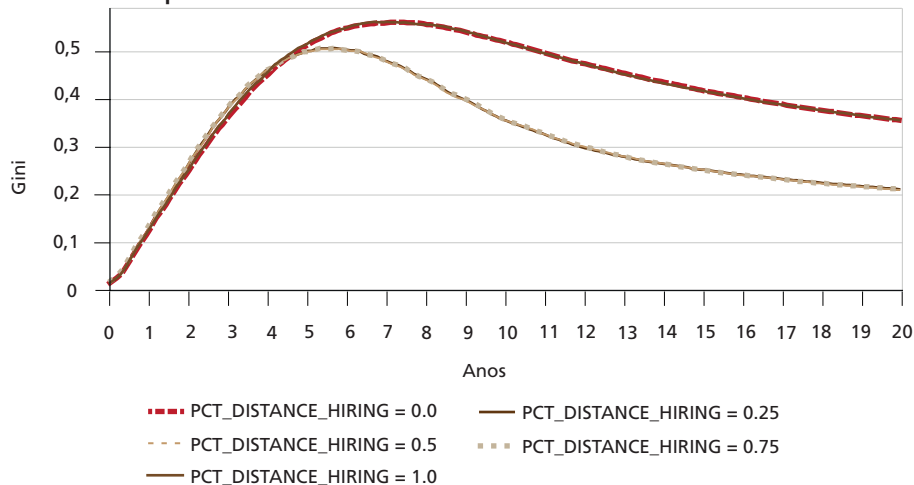


Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Belo Horizonte, com 2% da população, média de três simulações.

GRÁFICO 3

Análise de sensibilidade da regra de contratação de pessoal por critério de distância para o indicador Gini

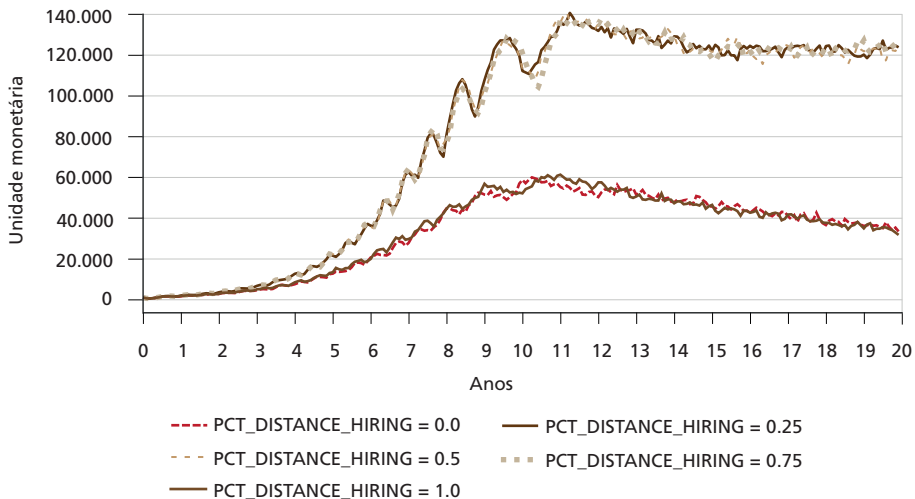


Elaboração do autor.

Obs.: 1. O indicador Gini é uma medida de desigualdade que pode ser usada para qualquer distribuição, embora seja comumente utilizada para medir a desigualdade de distribuição de renda.

2. Resultados para a ACP de Belo Horizonte, com 2% da população, média de três simulações.

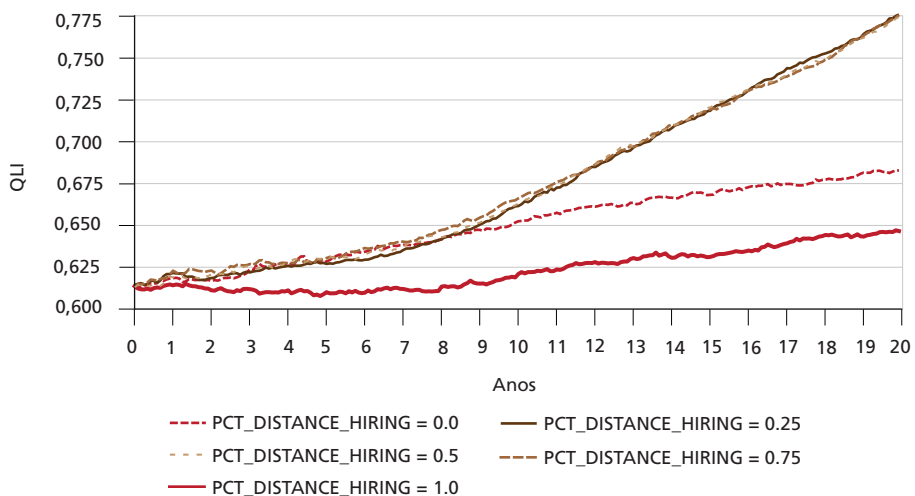
GRÁFICO 4
Análise de sensibilidade da regra de contratação de pessoal por critério de distância para o produto interno bruto (PIB)



Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Belo Horizonte, com 2% da população, média de três simulações.

GRÁFICO 5
Análise de sensibilidade da regra de contratação de pessoal por critério de distância para o QLI médio



Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Belo Horizonte, com 2% da população, média de três simulações.

2 DESEMPREGO COMO CRITÉRIO DE AJUSTE DE SALÁRIOS

Outro pressuposto do modelo é que a firma toma a decisão de quanto pagar de salários aos funcionários de forma ponderada em relação ao desemprego observado na Área de Concentração de População (ACP). A análise de sensibilidade apresenta os resultados quando essa regra é ignorada – ou seja, *wage_ignore_unemployment* = True – ou quando ela é utilizada (*False*), para o caso da ACP de Belo Horizonte, com 2% de população e média de três simulações para cada alternativa.

O gráfico 6 confirma que, quando a opção é *True*, a empresa paga em salários todo o faturamento descontado dos impostos e, portanto, não há acréscimo de capital que se mantém no mesmo valor do início da simulação. Ao contrário, quando o parâmetro é *False*, a firma paga salários menores quando há desemprego, e muito menores quando há maior desemprego. Com isso, o desconto de salários e impostos é menor do que o faturamento, e o capital das firmas se acumula.

GRÁFICO 6

Análise de sensibilidade no ajuste dos salários sobre o capital das firmas



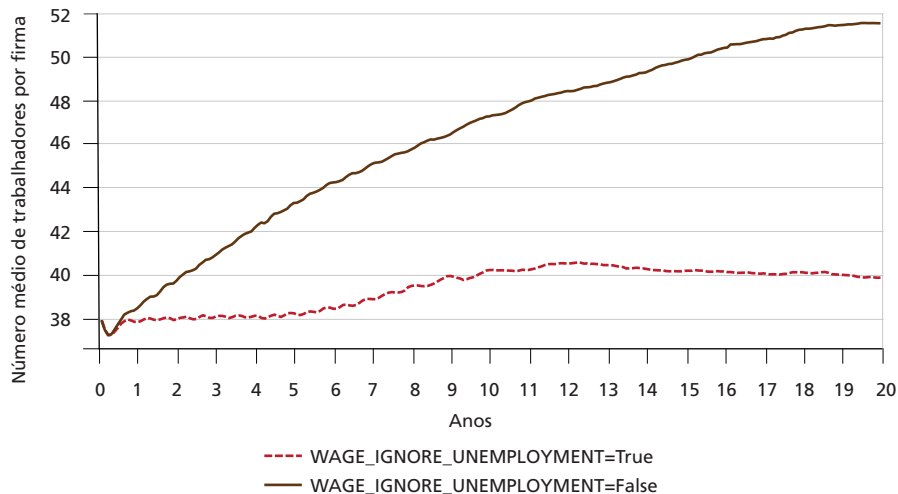
Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Belo Horizonte, com 2% da população, média de três simulações.

O pagamento de salários mais altos de forma generalizada leva a menor concentração de empregados por empresas (gráfico 7), menores lucros para as empresas de forma individual (gráfico 8), produção da região maior (gráfico 9), embora com desemprego em patamares superiores (gráfico 10).

GRÁFICO 7

Análise de sensibilidade no ajuste dos salários na média de trabalhadores por firma
(Em número de pessoa)

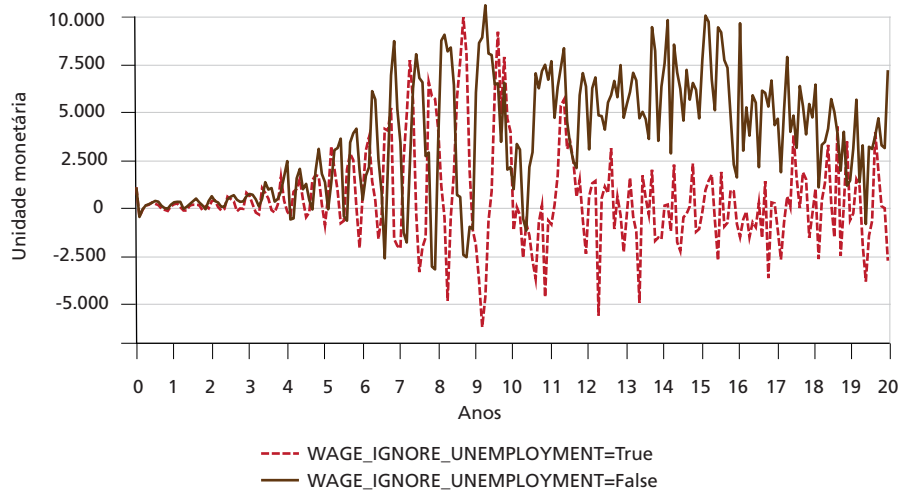


Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Belo Horizonte, com 2% da população, média de três simulações.

GRÁFICO 8

Análise de sensibilidade no ajuste dos salários para o lucro das firmas

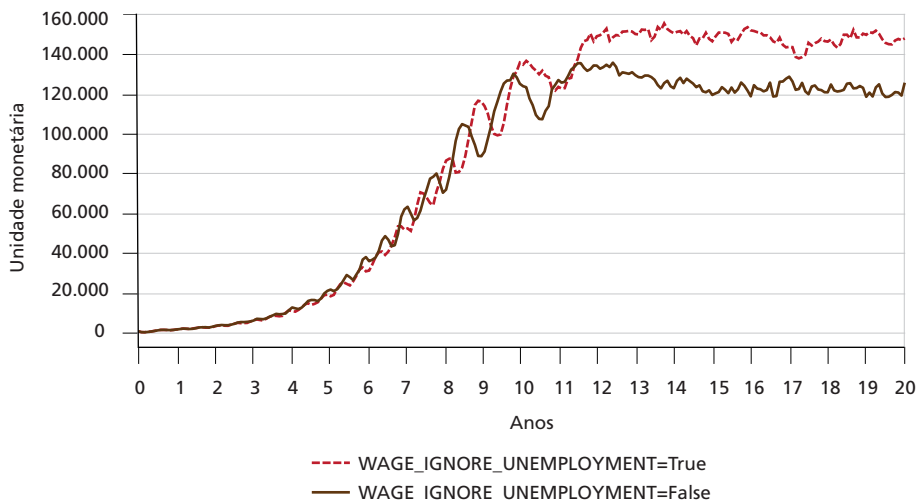


Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Belo Horizonte, com 2% da população, média de três simulações.

GRÁFICO 9

Análise de sensibilidade no ajuste dos salários para o PIB (Em unidade monetária)

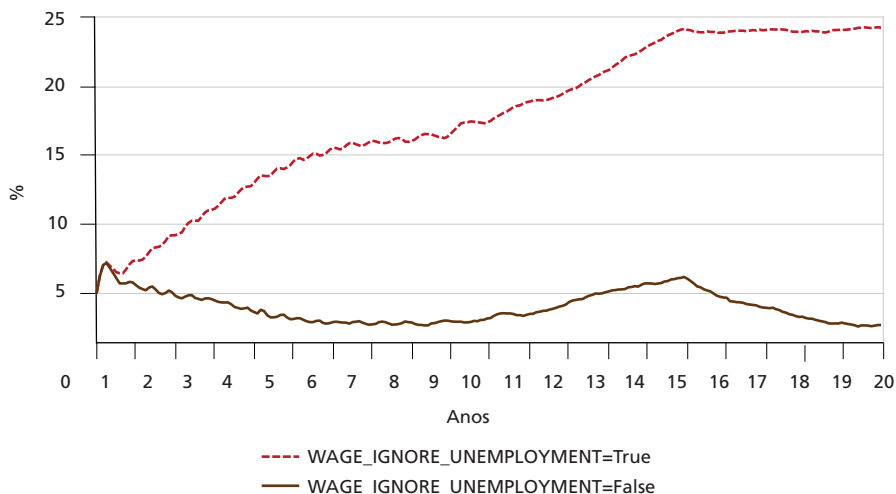


Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Belo Horizonte, com 2% da população, média de três simulações.

GRÁFICO 10

Análise de sensibilidade no ajuste dos salários para desemprego



Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Belo Horizonte, com 2% da população, média de três simulações.

Esses dois exemplos de regra servem simultaneamente como elemento de análise de compreensão dos mecanismos examinados no modelo e indicam que

essas regras levam maior razoabilidade e verossimilhança do comportamento da economia como um todo em relação à realidade observada. Nesse sentido, optou-se por utilizar a configuração padrão 0.17 para o parâmetro *percentage_distance_hiring*, e *False* para o parâmetro *wage_ignore_unemployment*. Por construção, outras escolhas de parâmetros também podem ser utilizadas, caso se avalie que o retorno dos indicadores seja mais adequado à pergunta de pesquisa.

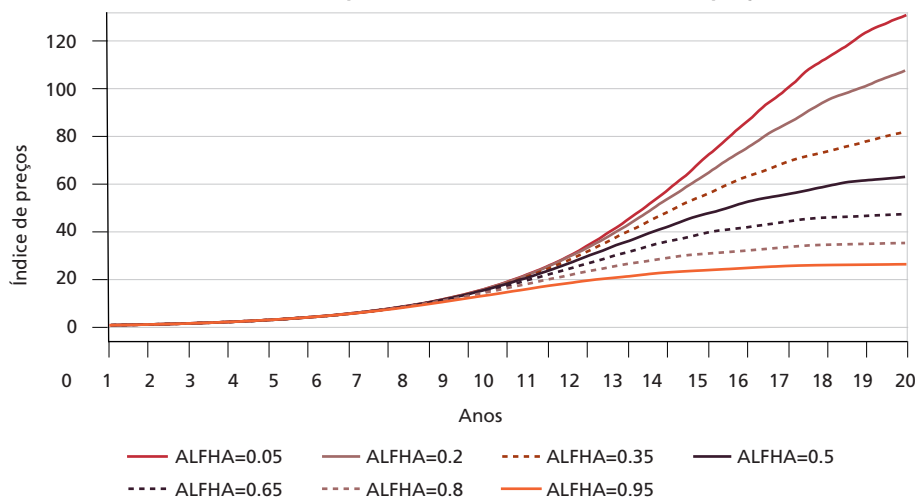
Assim, testam-se os parâmetros alpha e beta referentes: à produtividade do trabalhador e à propensão ao consumo das famílias; à frequência com que as firmas avaliam o mercado de trabalho e a relevância da rigidez na alteração de preços; e aos aspectos relacionados ao tamanho da família, ao percentual da amostra utilizada na simulação e ao tamanho da vacância de imóveis no mercado.

3 PRODUTIVIDADE

A maior produtividade do trabalhador – medida pelo parâmetro *alpha* – leva a preços menores (gráfico 11). Embora com impacto no médio prazo, essa baixa de preços não leva a menor desigualdade (gráfico 12), maior PIB (gráfico 13) ou menor desemprego (gráfico 14) ao fim do período. O maior consumo e dinamismo da economia, todavia, levam a maiores patamares acumulados de consumo e, portanto, recolhimento de impostos e elevado QLI.

GRÁFICO 11

Análise de sensibilidade da produtividade na média do nível de preços

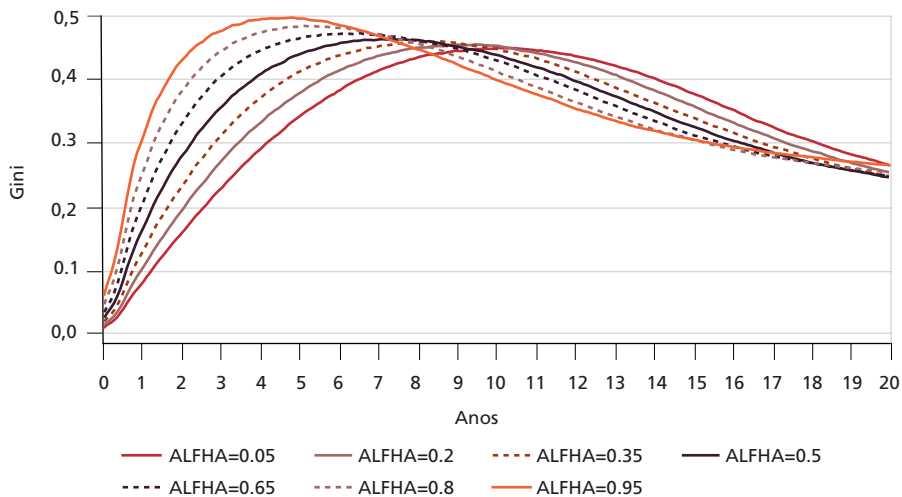


Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Curitiba, com 2% da população, média de quatro simulações.

GRÁFICO 12

Análise de sensibilidade da produtividade no indicador Gini

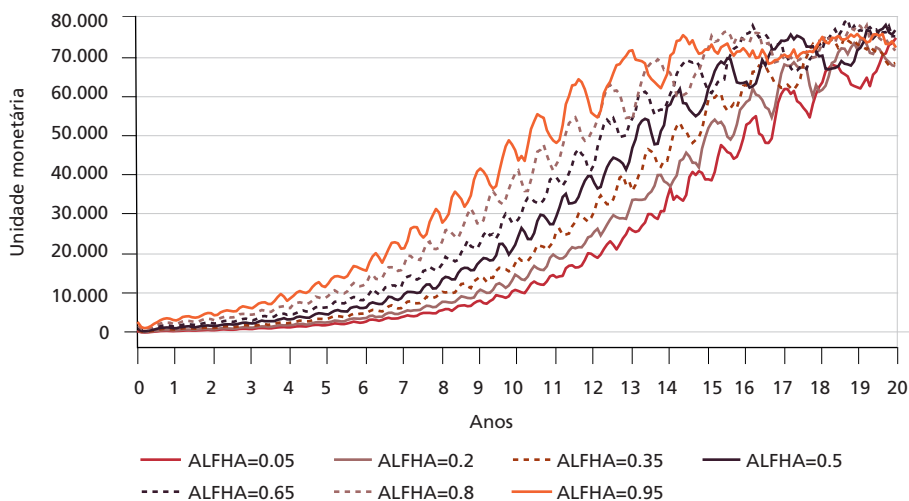


Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Curitiba, com 2% da população, média de quatro simulações.

GRÁFICO 13

Análise de sensibilidade da produtividade no PIB



Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Curitiba, com 2% da população, média de quatro simulações.

GRÁFICO 14
Análise de sensibilidade da produtividade no desemprego

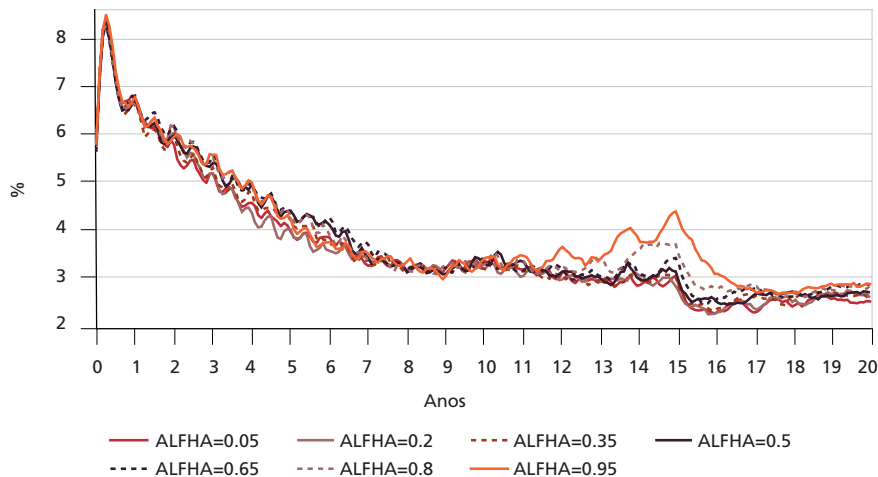
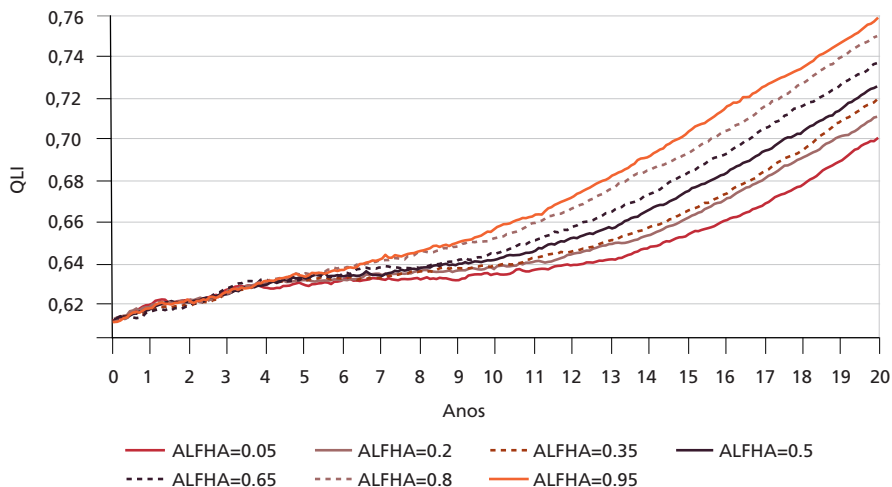


GRÁFICO 15
Análise de sensibilidade da produtividade no QLI



4 PROPENSÃO A CONSUMIR

A propensão a consumir das famílias – medida pelo parâmetro *beta* – balanceia a parte da receita da família aplicada em consumo mensal e a parte poupada com vistas à aplicação no mercado imobiliário.

Níveis maiores de consumo reduzem a desigualdade (gráfico 16), talvez pela manutenção do desemprego em níveis ligeiramente mais baixos (gráfico 17). Entretanto, o maior consumo leva a aumento relevante nos preços (gráfico 18) e, com isso, maior variabilidade nos lucros auferidos pelas firmas (gráfico 19).

GRÁFICO 16

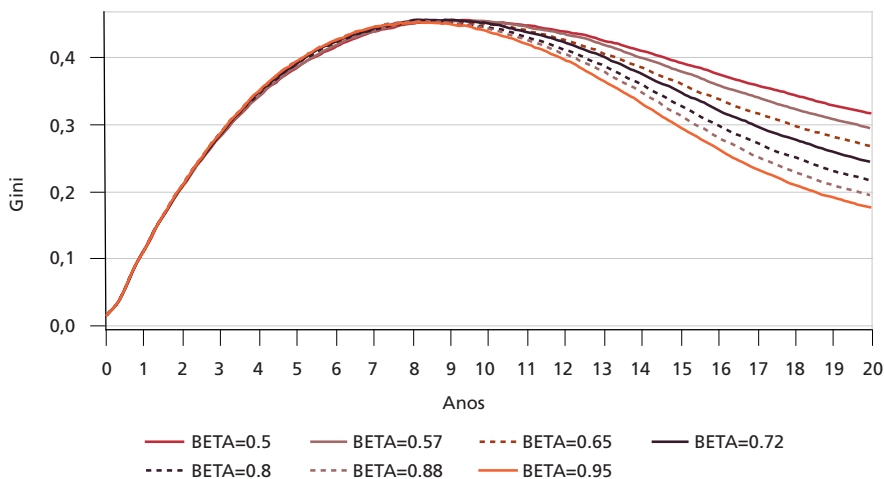
Análise de sensibilidade da propensão a consumir no indicador Gini

GRÁFICO 17

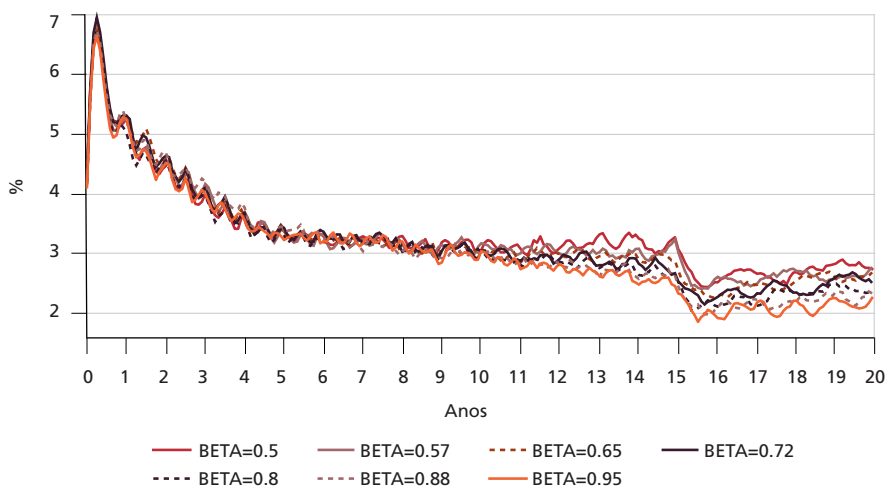
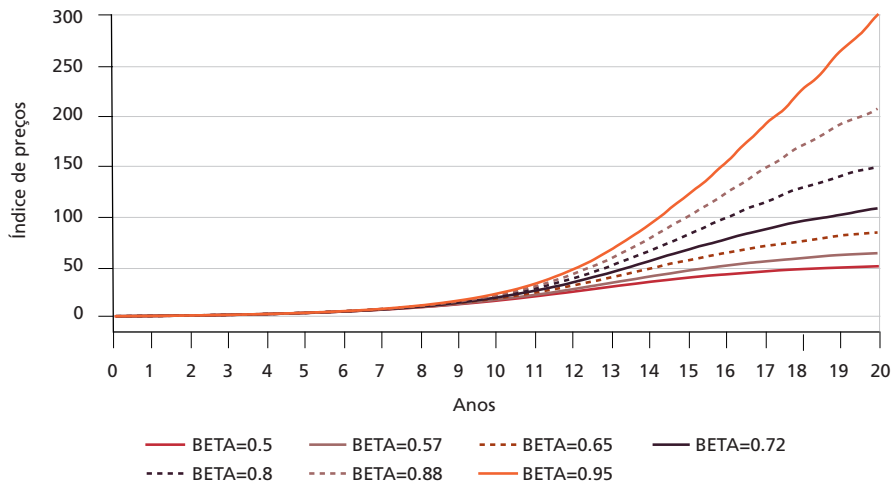
Análise de sensibilidade da propensão a consumir no desemprego

GRÁFICO 18

Análise de sensibilidade da propensão a consumir no nível de preços

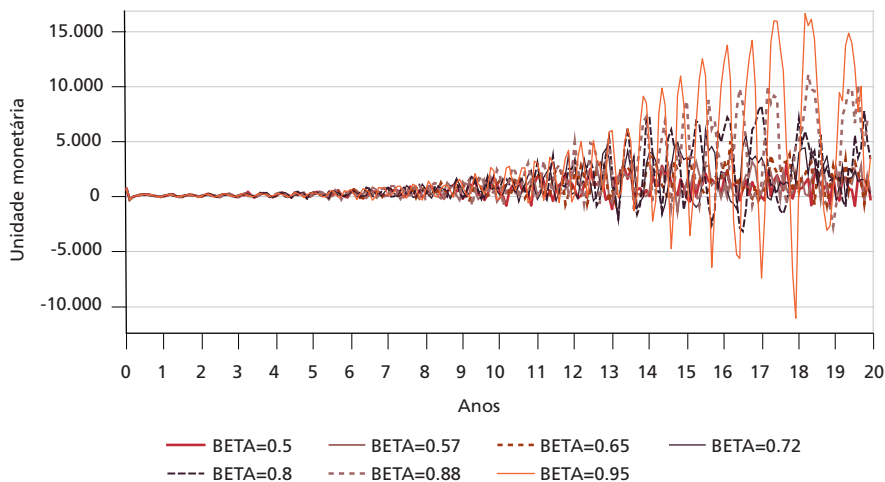


Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Porto Alegre, com 2% da população, média de quatro simulações.

GRÁFICO 19

Análise de sensibilidade da propensão a consumir no lucro das firmas



Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Porto Alegre, com 2% da população, média de quatro simulações.

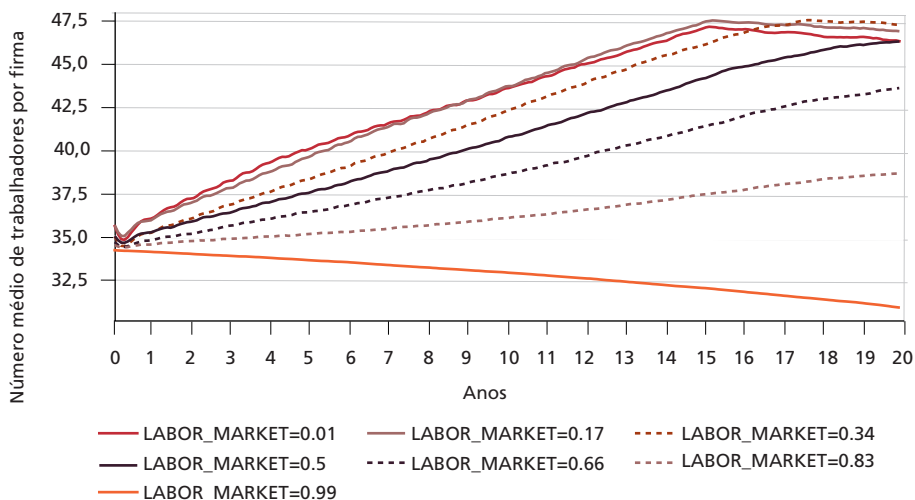
5 FREQUÊNCIA DE FIRMAS NO MERCADO DE TRABALHO

O *labor_market* é um parâmetro que controla a frequência com que as firmas entram no mercado. Quando o parâmetro é baixo, as firmas entram no mercado – contratando ou demitindo, frequentemente –, quando, ao contrário, o valor é muito alto, as firmas quase não entram no mercado de trabalho, e há maior rigidez no comportamento laboral.

Com o mercado de trabalho mais dinâmico e a entrada de firmas regularmente, há maior concentração de empregados por firmas (gráfico 20). Essa concentração de empregados (possivelmente mais qualificados) nas firmas que estão pagando salários maiores leva também a menor desemprego (gráfico 21) e menor desigualdade (gráfico 22). Em conjunto esses fatores levam a maior PIB absoluto no período de vinte anos, quando há dinamicidade no mercado de trabalho, e menor PIB quando há rigidez (gráfico 23).

GRÁFICO 20

Análise de sensibilidade da dinamicidade do mercado de trabalho na média de trabalhadores por firma

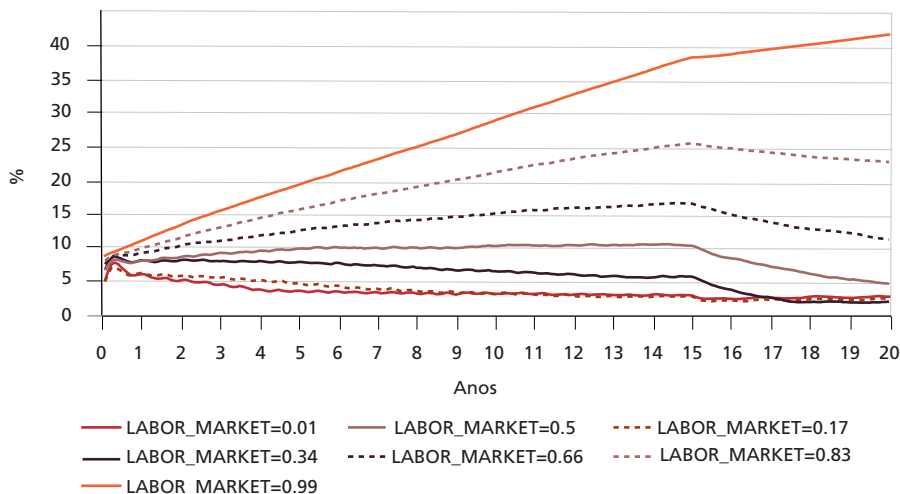


Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para Porto Alegre, com 2% da população, média de quatro simulações.

GRÁFICO 21

Análise de sensibilidade da dinamicidade do mercado de trabalho no desemprego

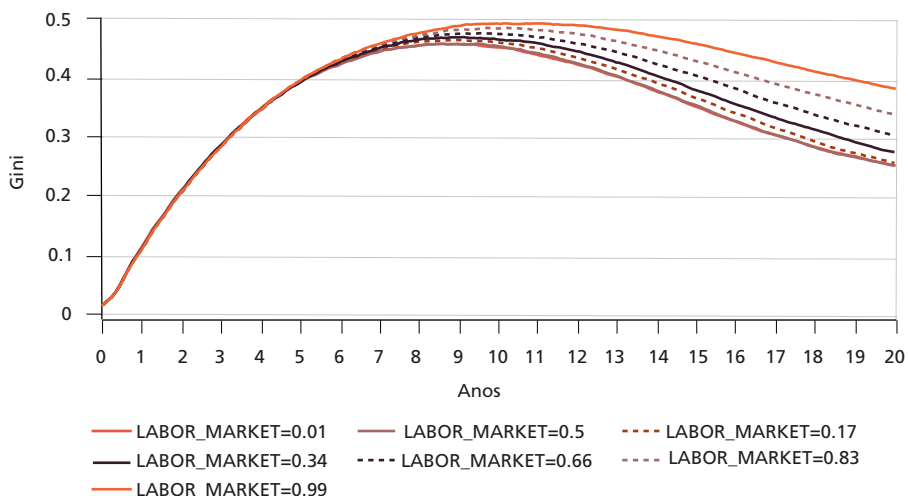


Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Porto Alegre, com 2% da população, média de quatro simulações.

GRÁFICO 22

Análise de sensibilidade da dinamicidade do mercado de trabalho no indicador Gini

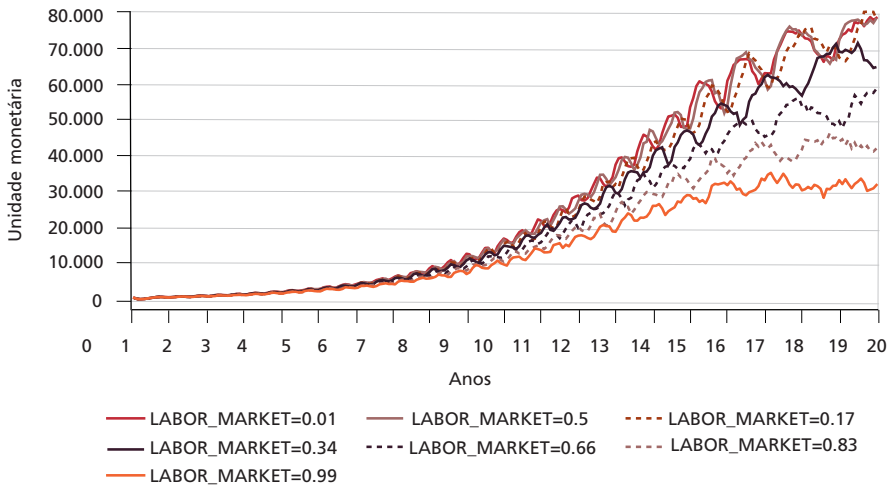


Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Porto Alegre, com 2% da população, média de quatro simulações.

GRÁFICO 23

Análise de sensibilidade da dinamicidade do mercado de trabalho no PIB



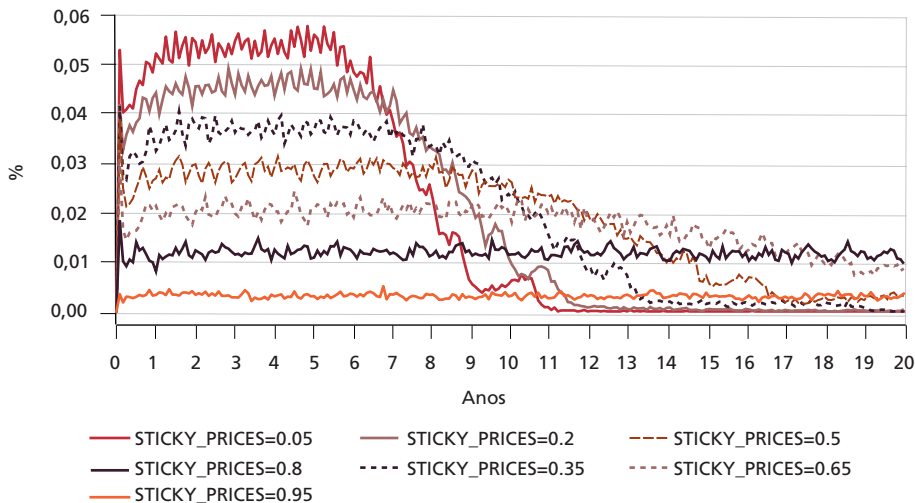
6 RIGIDEZ NO AJUSTE DOS PREÇOS

O parâmetro *sticky_prices* regula a frequência com que a firma verifica e efetua a necessidade de aumentar os preços. Valores altos do parâmetro indicam menor frequência de ajustes, e valores baixos, verificação mais constante.

O parâmetro se mostra relevante com efeitos fortes na economia como um todo. Quando as firmas ajustam os preços mais regularmente a inflação aumenta no início do período, que depois se estabiliza. Ao contrário, quando as firmas mantêm os preços e não fazem seu ajuste tão frequentemente, a inflação se mantém em patamares mais baixos, porém, estável até o fim do período (gráfico 24).

Embora os efeitos globais na inflação não diverjam muito em relação ao comportamento padrão, os efeitos no PIB são fortes, com valores bem inferiores quando o parâmetro é maior do que 0,65. Ou seja, quando as firmas verificam se ajustam os preços, em média, apenas uma vez a cada três meses, a produção na economia, para a configuração dada, é prejudicada (gráfico 25). Possivelmente, devido ao impacto do reajuste dos preços em seus lucros correntes (gráfico 26). Isso por sua vez impacta a estratégia de contratação e demissão da firma, afetando os níveis de emprego (gráfico 27). As famílias mantêm níveis maiores de poupança (gráfico 28) porque não participam do mercado de consumo com tanta intensidade. Finalmente, em conjunto, esses fatores parecem indicar que ajustes mais frequentes dos preços levam a níveis superiores de consumo e qualidade de vida (gráfico 29).

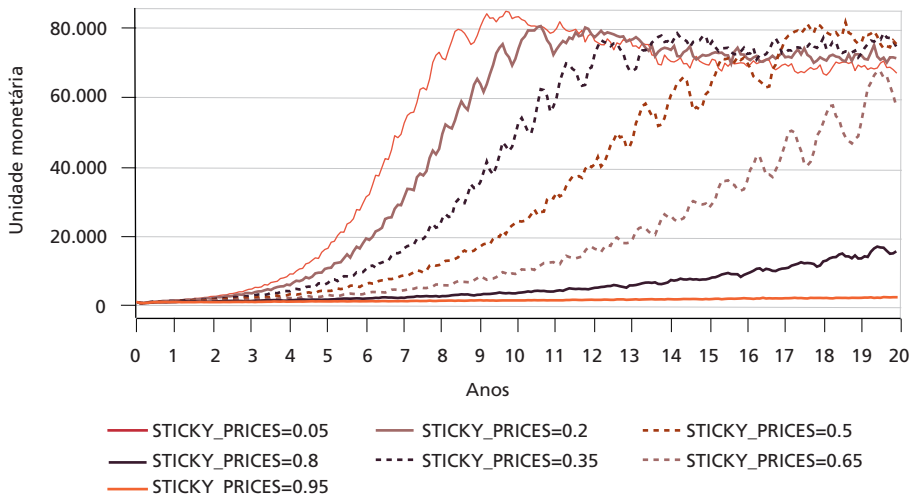
GRÁFICO 24
Análise de sensibilidade para a frequência de ajuste de preços das firmas na inflação



Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Porto Alegre, com 2% da população, média de quatro simulações.

GRÁFICO 25
Análise de sensibilidade para a frequência de ajuste de preços das firmas no PIB

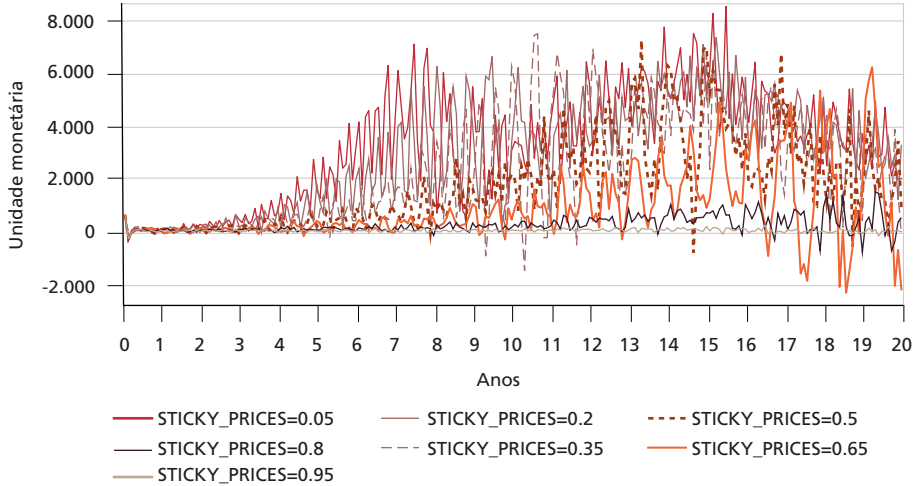


Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Porto Alegre, com 2% da população, média de quatro simulações.

GRÁFICO 26

Análise de sensibilidade para a frequência de ajuste de preços das firmas no seu lucro

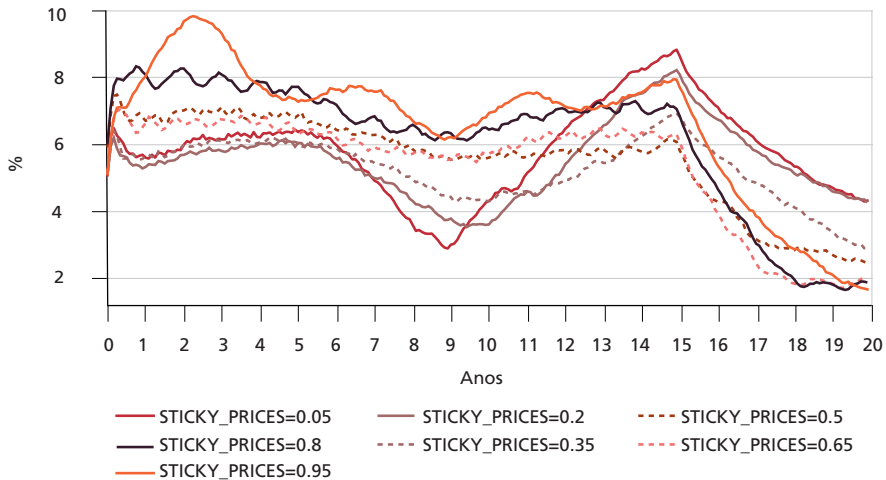


Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Porto Alegre, com 2% da população, média de quatro simulações.

GRÁFICO 27

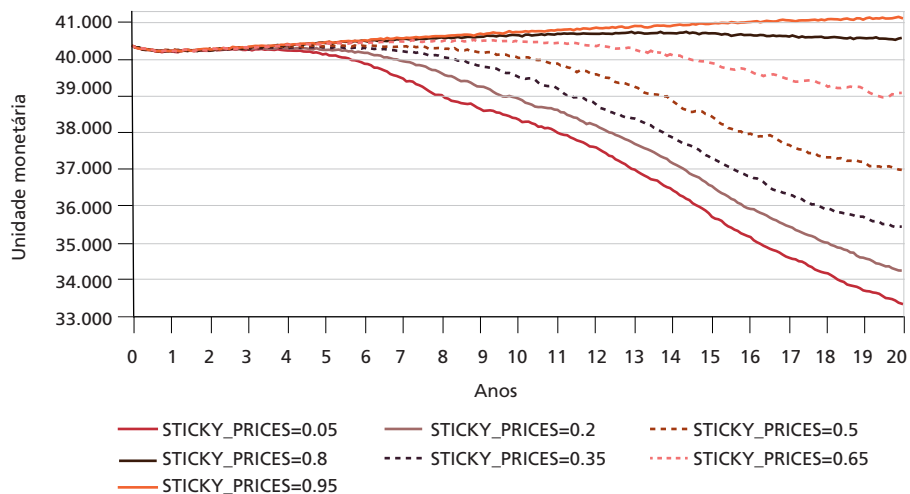
Análise de sensibilidade para a frequência de ajuste de preços das firmas no desemprego



Elaboração do autor.

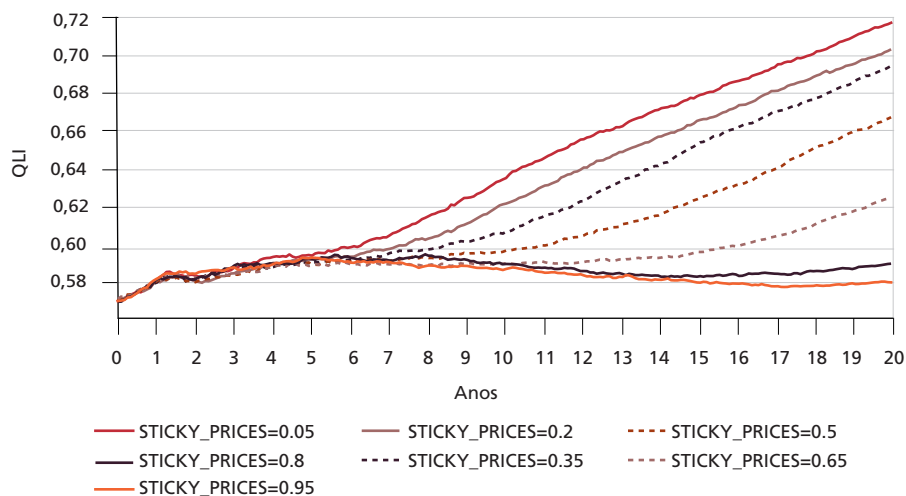
Obs.: Resultados para a ACP de Porto Alegre, com 2% da população, média de quatro simulações.

GRÁFICO 28
Análise de sensibilidade para a frequência de ajuste de preços das firmas na poupança das famílias



Elaboração do autor.
 Obs.: Resultados para a ACP de Porto Alegre, com 2% da população, média de quatro simulações.

GRÁFICO 29
Análise de sensibilidade para a frequência de ajuste de preços das firmas no QLI



Elaboração do autor.
 Obs.: Resultados para a ACP de Porto Alegre, com 2% da população, média de quatro simulações.

Além dos ajustes para cada simulação, há outro conjunto de parâmetros que regulam as condições gerais dos agentes de cada simulação (*run*). Referem-se a

indicadores mais gerais da composição dos agentes, tais como o número médio de membros da família, o tamanho da amostra da população da ACP a ser utilizada, ou a magnitude do número de casas vagas na ACP.

7 DEMOGRAFIA: TAMANHO DA FAMÍLIA

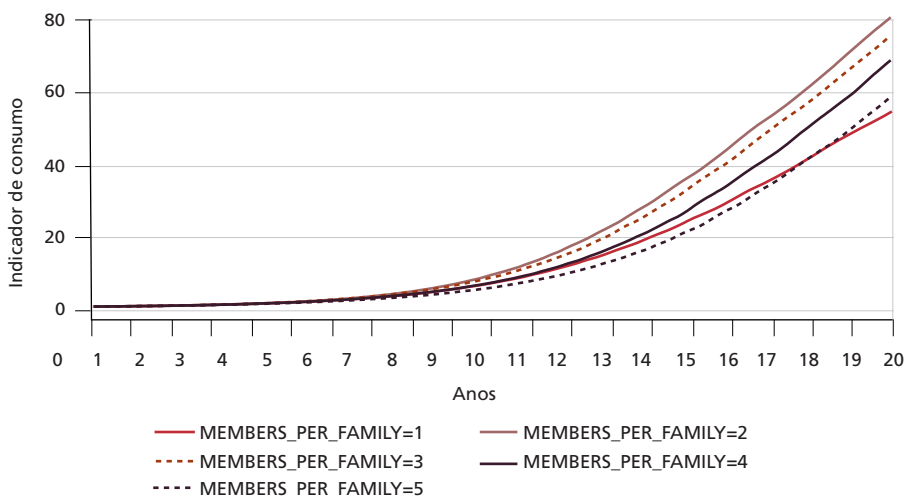
Para o caso do tamanho da família, testamos cinco possibilidades básicas: famílias mais numerosas, com número médio de cinco membros, de forma descendente, até famílias com média de apenas um indivíduo.

Dado que o consumo nas famílias é compartilhado e, especialmente, que a idade dos membros também é sorteada, famílias com menos membros apresentam maiores chances de não possuírem indivíduos em idade laboral. Com isso, a média de consumo fica mais baixa quando a média de membros por família é de somente um indivíduo (gráfico 30). Entretanto, a relação entre consumo acumulado e número de membros da família não é linear, parecendo haver melhor ajuste nas famílias com média de dois membros. Em termos de poupança, simplesmente, famílias com maior número de membros, e, conseqüentemente, maior número de trabalhadores, conseguem manter níveis mais elevados de poupança (gráfico 31).

O PIB e a desigualdade medida pelo indicador Gini não são tão diferentes para famílias de três, quatro ou cinco membros (gráficos 32 e 33).

GRÁFICO 30

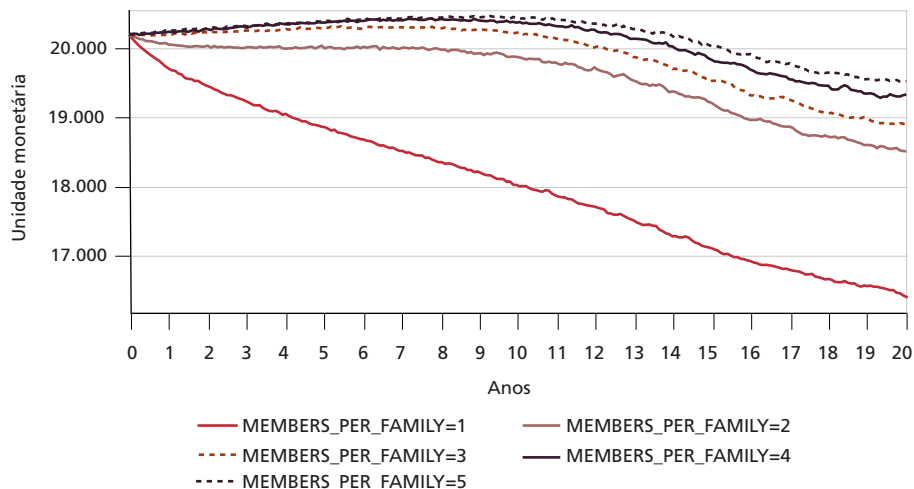
Análise de sensibilidade do tamanho médio das famílias no consumo médio



Elaboração do autor.

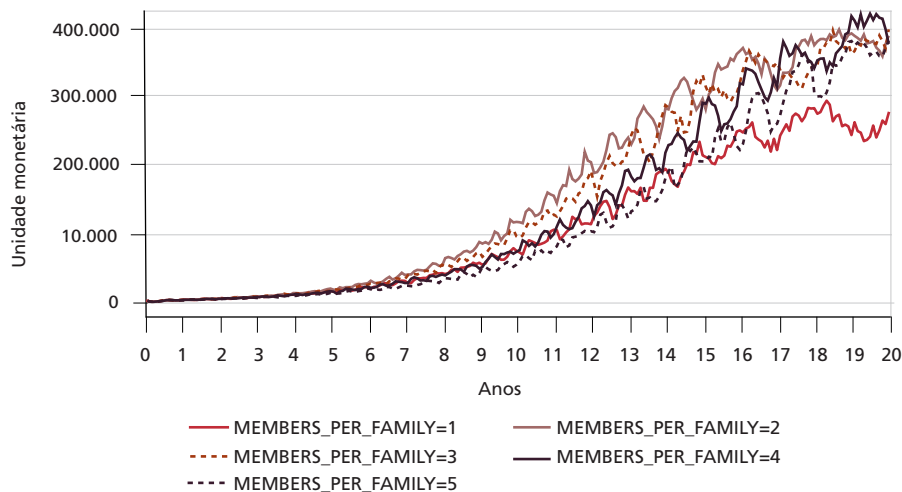
Obs.: Resultados para a ACP de Brasília, com 1% da população, média de três simulações.

GRÁFICO 31
Análise de sensibilidade do tamanho médio das famílias na poupança



Elaboração do autor.
 Obs.: Resultados para a ACP de Brasília, com 1% da população, média de três simulações.

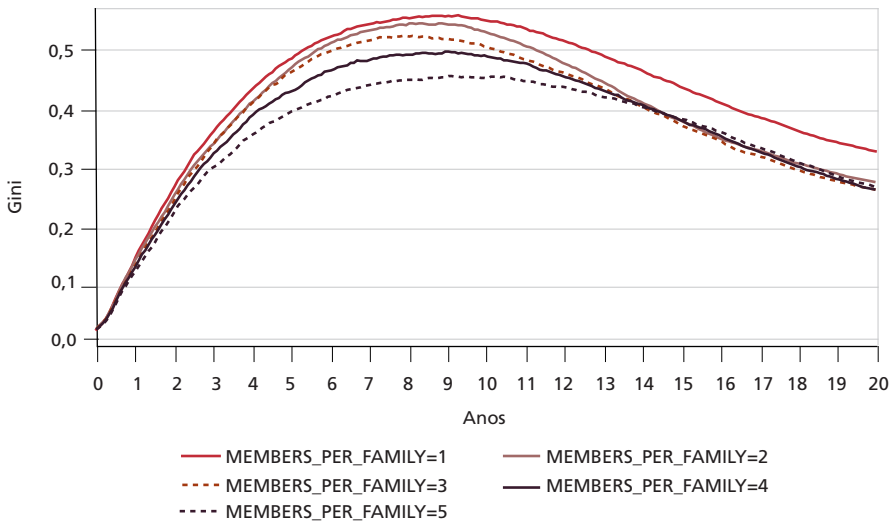
GRÁFICO 32
Análise de sensibilidade do tamanho médio das famílias no PIB



Elaboração do autor.
 Obs.: Resultados para a ACP de Brasília, com 1% da população, média de três simulações.

GRÁFICO 33

Análise de sensibilidade do tamanho médio das famílias no indicador Gini



Elaboração do autor.

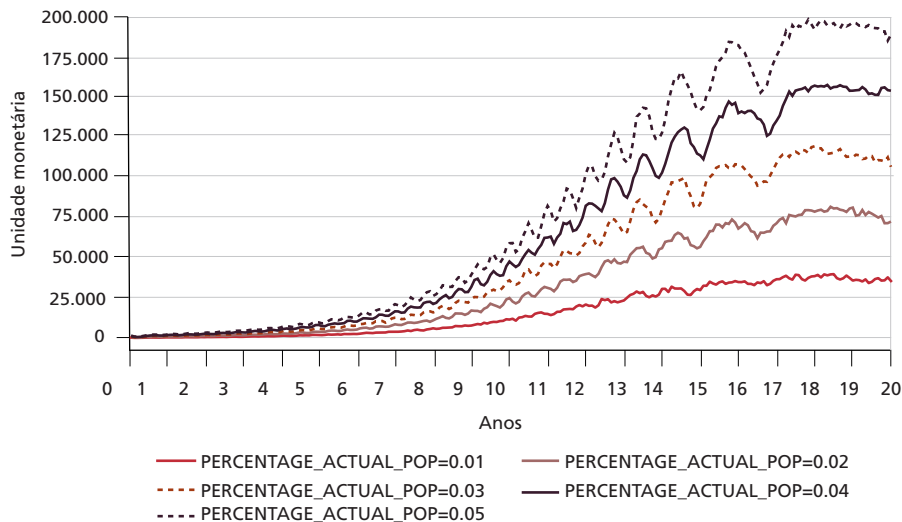
Obs.: Resultados para a ACP de Brasília, com 1% da população, média de três simulações.

8 AMOSTRA DA POPULAÇÃO

A utilização de variadas amostras da população para diferentes simulações apontou que para alguns indicadores há diferença de nível (gráfico 34), embora sem aumento de variabilidade (gráfico 35), por exemplo, no PIB e também no nível de poupança das famílias. Entretanto, não há variação relevante nos níveis de preços, desemprego, desigualdade, concentração de empregados por firma ou consumo das famílias.

GRÁFICO 34

Análise de sensibilidade do tamanho da amostra da população da simulação no PIB

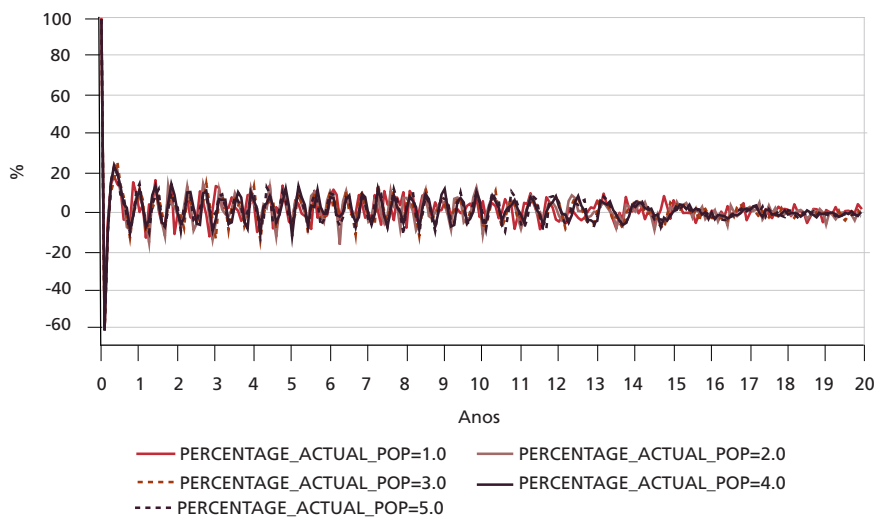


Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Brasília, com 1% da população, média de três simulações.

GRÁFICO 35

Análise de sensibilidade do tamanho da amostra da população da simulação na variação do PIB



Elaboração do autor.

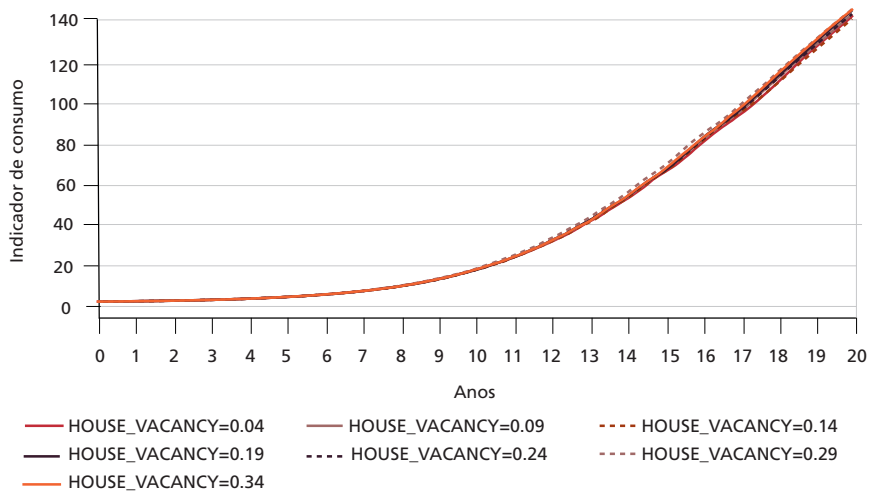
Obs.: Resultados para a ACP de Brasília, com 1% da população, média de três simulações.

9 VACÂNCIA

A intensidade da vacância de casas parece afetar muito levemente o comportamento do modelo como um todo. Apenas sutilmente, nota-se um declínio no consumo acumulado das famílias, na medida em que se aumenta a vacância de residências (gráfico 36). Esse consumo, por sua vez, afeta também de forma branda a desigualdade final que fica em nível superior quando há maior vacância.

GRÁFICO 36

Análise de sensibilidade à intensidade da vacância residencial no consumo acumulado das famílias



Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Brasília, com 1% da população, média de três simulações.

APLICAÇÕES: ANÁLISE FISCAL MUNICIPAL E FEDERALISMO

Conforme apresentado na subseção impostos e municípios (subseção 3.7.9 do capítulo 2), são quatro as alternativas de distribuição de impostos propostos no *PolicySpace* e sujeitas a análise de variabilidade nos efeitos (ver também tabela 1 do capítulo 2). Seriam elas: a presença ou não do Fundo de Participação dos Municípios (FPM) (*True* ou *False*) e a junção dos municípios em um só para efeitos de distribuição de impostos (*Alternative0=False*) ou não (*True*).

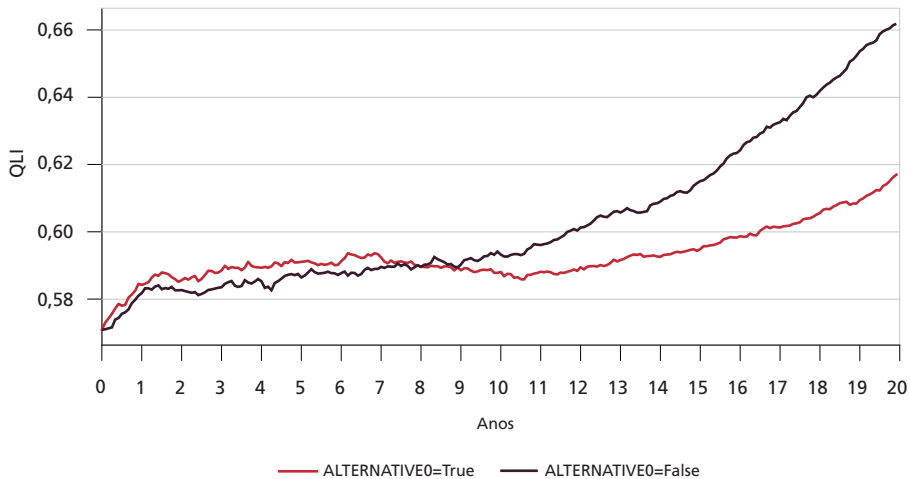
A própria discussão teórica sugere que a alternativa distributiva atual, com a presença do FPM e sua progressividade implícita, é benéfica aos municípios mais pobres das regiões metropolitanas (*status quo*, quando: *FPM=True* e *Alternative0=True*). Teoricamente, a alternativa mais progressiva seria aquela que manteria a presença do FPM em consonância com a junção dos municípios para efeitos de distribuição de impostos (ou seja: *FPM=True* e *Alternative0=False*). A alternativa menos progressiva de todas seria a combinação da falta de FPM e segregação na distribuição dos impostos, com desconsideração do fato de a Área de Concentração de População (ACP) operar como um ente produtivo singular (ou seja: *Alternative0=True* e *FPM=False*).

Na prática, o montante arrecadado que é redistribuído a partir de cada regra é relativamente pequeno, se considerada a manutenção dos níveis de proporcionalidade em relação ao produto interno bruto (PIB) e em relação ao total, conforme demonstrado na validação de impostos (seção 2 do capítulo 3). Com isso, as repercussões ao longo do modelo são relativamente pequenas para as configurações testadas. Ressalte-se ainda que a análise realizada é de caráter estrutural e não incorpora em momento algum o ganho com a redução do aparato burocrático necessário para a manutenção de estruturas municipais de todos os poderes, nem o aumento de eficiência associada a ganhos de escala para municípios maiores, conforme apontado na literatura (subseção 3.7.9 do capítulo 2).

De todo modo, todos os exercícios feitos indicam que o FPM individualmente é fundamental para a progressividade existente na redistribuição dos impostos observada no âmbito das ACPs (gráfico 2). A junção dos municípios para efeitos distributivos é apenas marginalmente superior na melhoria do indicador de *quality of life index* (QLI) (gráfico 3).

Em contrapartida, quando a opção de municípios juntos ou separados (Alternative0) é testada com o parâmetro do FPM=False, quer dizer, na ausência da regra de distribuição do FPM, a opção municípios juntos para efeitos tributários (Alternative0=FALSE) indica resultados muito superiores do que a opção com municípios separados (gráfico 1).

GRÁFICO 1

Alteração de regra distributiva, municípios juntos ou separados

Elaboração do autor.

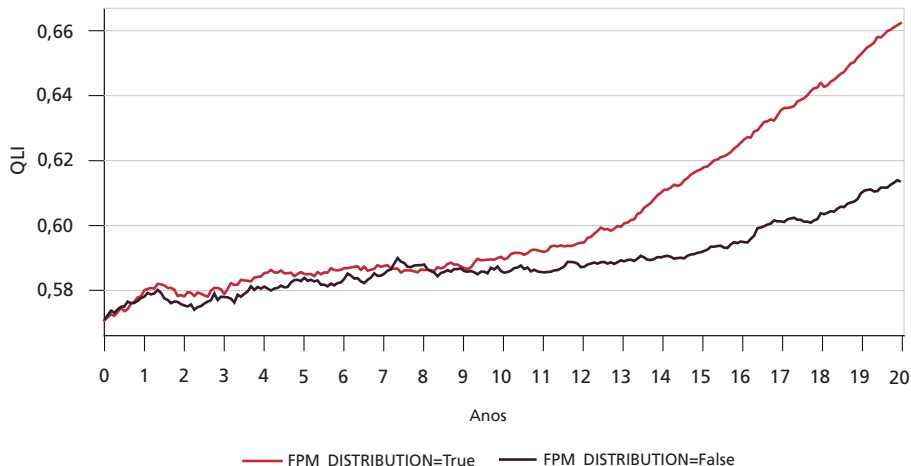
Obs.: 1. O cálculo médio do QLI da ACP é sempre ponderado pela população. Essa simulação segue a configuração na qual FPM=FALSE.

2. Resultados para a ACP de Brasília, com 1% da população, média de quatro simulações.

Isso indica que a Alternative0 – unir ou separar os municípios – produz efeitos similares do ponto de vista distributivo ao FPM. Caso não existisse o efeito distributivo do FPM, a alternativa traria efeitos parecidos. Entretanto, dado que a regra do FPM está em vigor, juntar ou não os municípios gera efeitos apenas marginais.

Quando observadas em conjunto, para várias ACPs testadas, os resultados indicam bastante consistência com a opção teoricamente mais progressiva (linha preta tracejada nos gráficos) ligeiramente superior aos valores para a configuração atual (vermelha), tanto para os casos do Rio de Janeiro (gráfico 4) quanto para Ipatinga (gráfico 5) ou Curitiba (gráfico 6).

GRÁFICO 2
Alteração de regra distributiva do FPM

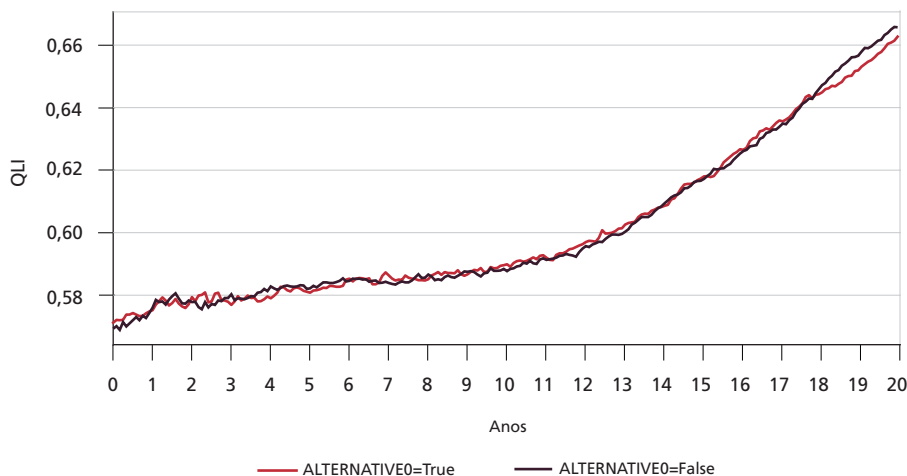


Elaboração do autor.

Obs.: 1. O cálculo médio do QLI da ACP é sempre ponderado pela população. Essa simulação segue a configuração padrão na qual ALTERNATIVE0=TRUE.

2. Resultados para a ACP de Brasília, com 1% da população, média de cinco simulações.

GRÁFICO 3
Alteração de limites administrativos na ACP

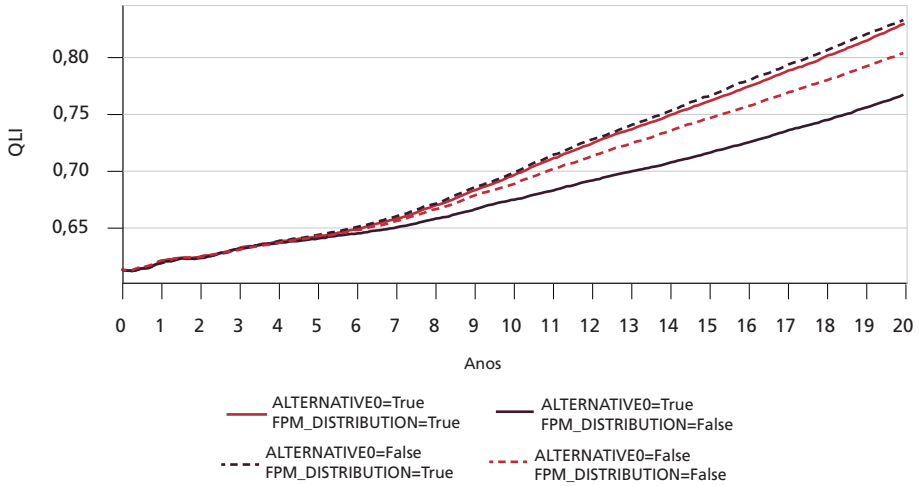


Elaboração do autor.

Obs.: 1. Essa simulação segue a configuração padrão na qual FPM=TRUE.

2. Resultados para a ACP de Brasília, com 1% da população, média de cinco simulações.

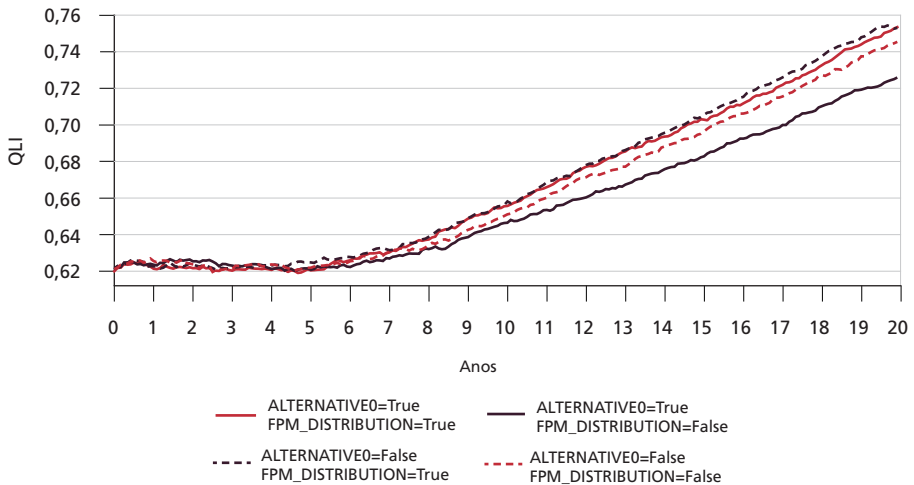
GRÁFICO 4
Alteração de regras distributivas, com quatro alternativas



Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP do Rio de Janeiro, com 2% da população, média de dez simulações.

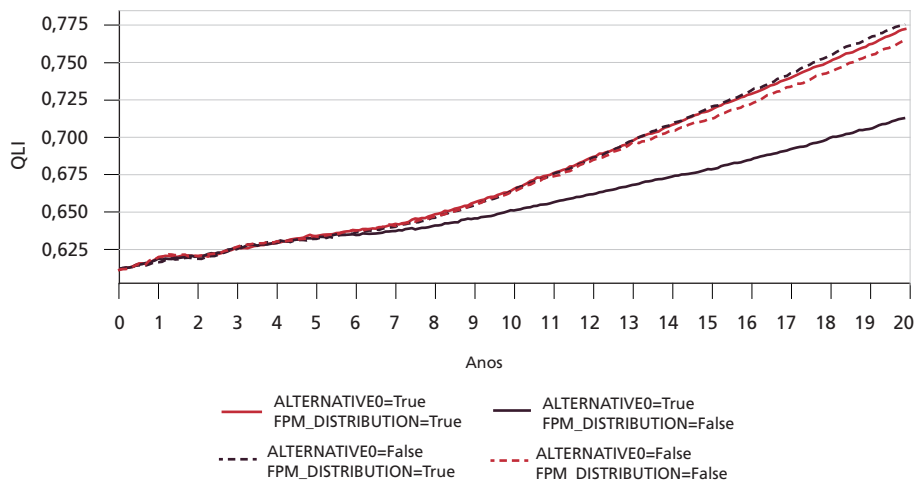
GRÁFICO 5
Alteração de regras distributivas, com quatro alternativas



Elaboração do autor.

Obs.: Resultados para a ACP de Ipatinga, com 2% da população, média de dez simulações.

GRÁFICO 6
 Alteração de regras distributivas, com quatro alternativas



Obs.: Resultados para a ACP de Curitiba com 2% da população, média de dez simulações.

A análise realizada indica fortemente a manutenção das regras progressivas do FPM, essenciais para a progressividade da distribuição de impostos das ACPs, com melhoria da qualidade de vida em toda a região de forma geral, ponderada pela população. A alternativa de junção dos municípios para efeitos de distribuição de impostos, embora positiva, na configuração modelada mostrou-se com influência estrutural apenas marginal. Caso se adotassem medidas dessa natureza, os resultados estruturais seriam adicionados de ganhos de eficiência, redução de custos e fragmentação operacional. Adicionalmente, ressalte-se que a opção de junção dos municípios geraria efeitos similares aos gerados pelo FPM, quando este não está presente, sugerindo que uma regra seria substituída próxima da outra, em termos de distribuição de recursos tributários.

MERCADO IMOBILIÁRIO

O mercado imobiliário dinamiza a economia a partir da injeção da poupança das famílias no mercado. De fato, os testes sem mercado imobiliário (sem famílias entrando no mercado a cada mês) indicaram crescimento muito inferior em relação aos testes com pequena porcentagem das famílias participando do mercado. No conjunto, toda a economia se comporta de maneira diferente, com inflação próxima a zero, desemprego estruturalmente mais alto, e maior desigualdade.

A título de ilustração, simulamos o caso de Brasília (e Porto Alegre) com 2% da população e média de quatro rodadas. Em Brasília, a alteração do parâmetro *percentage_check_new_location*, ou seja, a quantidade de famílias que entram no mercado imobiliário mensalmente, de 0,4% para 2% resultou em: *i*) manutenção nos mesmos patamares de casas desocupadas ao fim do período (13,2%); *ii*) aumento marginal dos valores das casas; *iii*) aumento das famílias que efetivamente se mudaram (de 28% para 50%); e *iv*) decréscimo de famílias que se mudaram para casas mais caras (de 90% para 81%), em detrimento de famílias que se mudaram para casas mais baratas (de 10,3% para 18,7%).

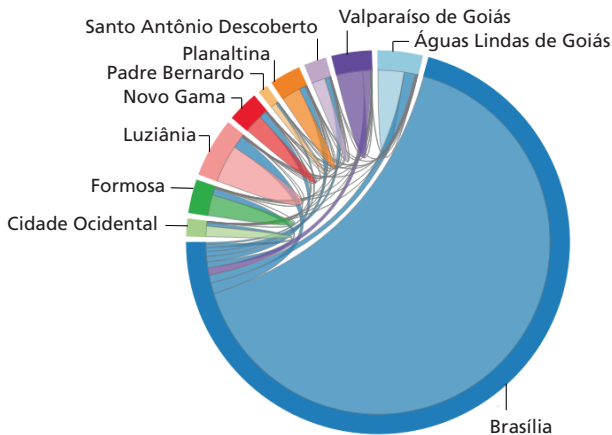
Esse último exercício também permitiu a análise dos fluxos entre os municípios periféricos e a capital federal. Quando o mercado imobiliário é menos dinâmico, as mudanças em Brasília predominam e o fluxo é sempre ligeiramente maior de Brasília para os municípios vizinhos, com exceção de Valparaíso de Goiás (gráfico 1).

Ao contrário, quando o mercado é mais dinâmico e o número de famílias que se mudam é maior, o fluxo se inverte com migração de famílias dos municípios periféricos em direção à Brasília, com exceção de Águas Lindas de Goiás (gráfico 2). Nesse caso, a migração interna à Brasília também se reduz.

Ilustrativamente, para o caso de Porto Alegre, realizamos um exercício com alteração significativa do aumento de famílias que entram no mercado imobiliário, com variação da porcentagem de 1% a 25% das famílias. A relevância do mercado imobiliário na dinamização da economia como um todo pode ser observada nos próximos gráficos.

GRÁFICO 1

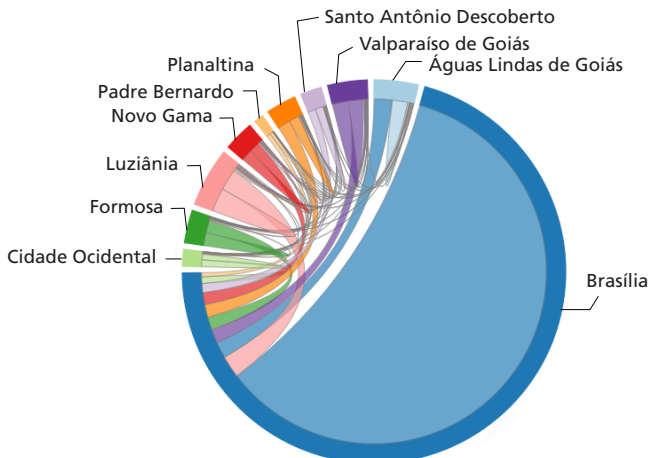
Fluxo de mudanças de famílias entre municípios da área de concentração de população (ACP) de Brasília com mercado menos dinâmico



Elaboração: Cayan Atreio Portela Bárcena Saavedra, com dados da simulação.
Obs.: Dados para 1% da população e *percentage_check_new_location*=.003.

GRÁFICO 2

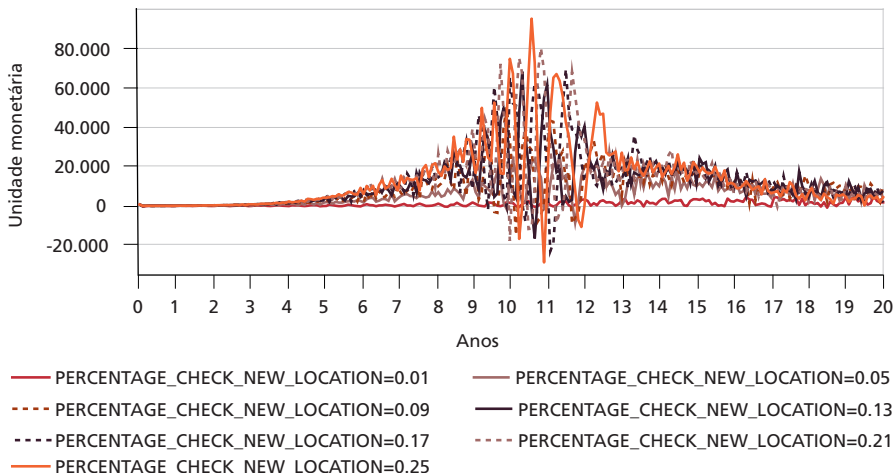
Fluxo de mudanças de famílias entre municípios da ACP de Brasília com mercado mais dinâmico



Elaboração: Cayan Atreio Portela Bárcena Saavedra, com dados da simulação.
Obs.: Dados para 1% da população e *percentage_check_new_location*=.017.

O lucro das firmas (gráfico 3), por exemplo, apresenta aumento relevante na sua variabilidade a partir do incremento da população participante no mercado imobiliário.

GRÁFICO 3
Análise do mercado imobiliário: resultados¹ do lucro das firmas para Porto Alegre

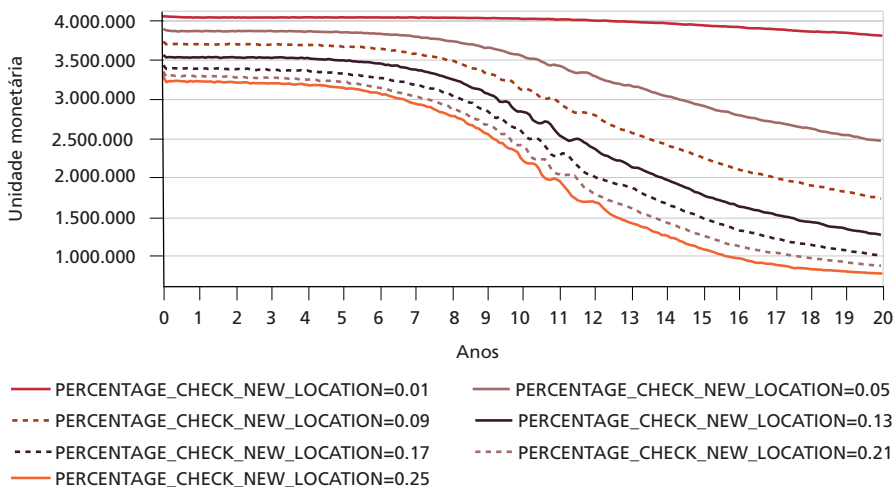


Elaboração do autor.

Nota: ¹ Para 2% da população de Porto Alegre e média de quatro simulações.

Adicionalmente, por construção, há declínio maior e proporcional no nível de poupança das famílias à medida um que número maior delas participa do mercado (gráfico 4), embora note-se certa convergência, ao final do período.

GRÁFICO 4
Análise do mercado imobiliário: resultados¹ da poupança das famílias para Porto Alegre

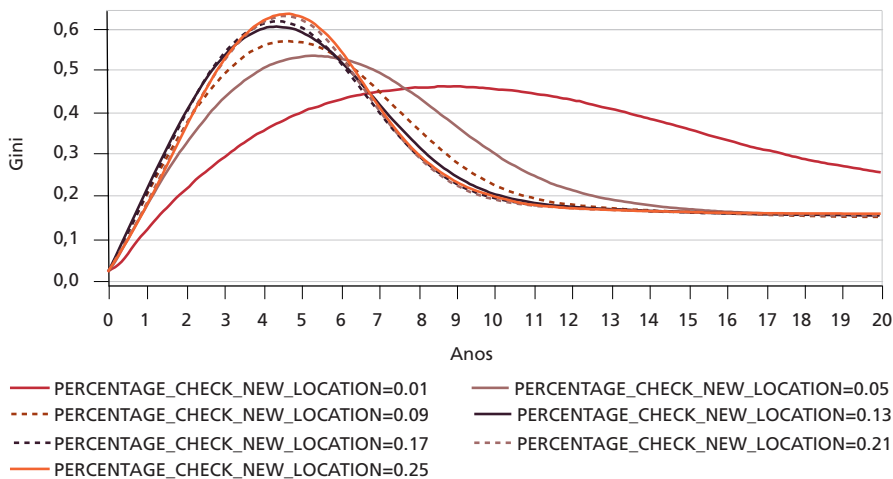


Elaboração do autor.

Nota: ¹ Para 2% da população de Porto Alegre e média de quatro simulações.

A desigualdade, medida pelo coeficiente de Gini, indica dois patamares distintos, um, mais alto, quando o mercado é relativamente pouco dinâmico (*percentage_check_new_location*=0.01), e outro, mais baixo, convergente, quando há maior dinamismo no mercado imobiliário (gráfico 5).

GRÁFICO 5

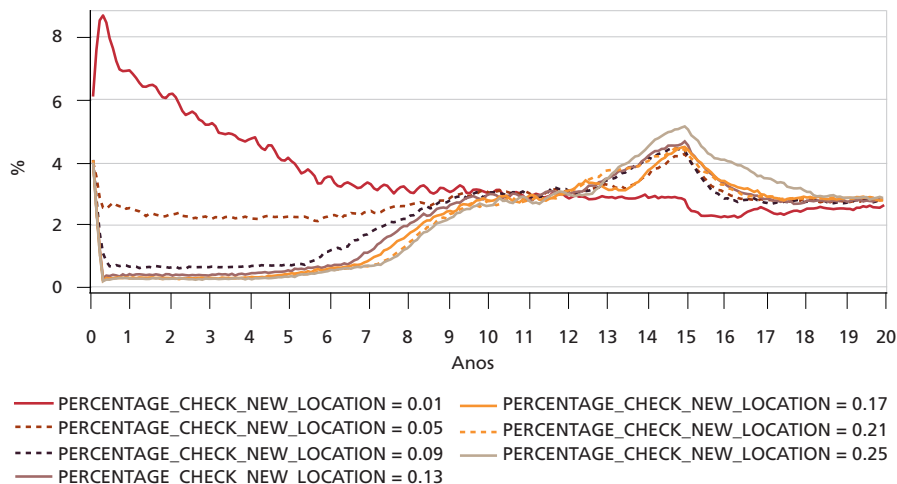
Análise do mercado imobiliário: resultados¹ do indicador Gini para Porto Alegre

O desemprego, por sua vez, para a configuração de Porto Alegre, com 2% da população, apresenta três comportamentos distintos (gráfico 6). Desemprego em níveis mais altos que depois se acomodam em valores mais baixos, para o mercado menos dinâmico; um segundo patamar que se mantém estável, com pequena elevação por volta do 15º ano da simulação; e um terceiro, para as simulações com mercado mais dinâmico que se iniciam com desemprego bastante baixo, próximo a zero, e depois se estabilizam entre 2% e 4%.

No geral, o dinamismo do mercado imobiliário leva a níveis mais altos de produção, embora haja convergência, acima de um dado patamar de participação das famílias, e até reversão quando a intensidade é muito alta (gráfico 7).

Os resultados apresentados neste capítulo indicam que um mercado imobiliário mais dinâmico está associado à melhoria média das famílias, com maior produção e menor desigualdade e maior número de famílias conseguindo acesso a residências melhores que as anteriores. Os exemplos também indicaram a possibilidade de um mercado mais dinâmico estar relacionado a maior acesso a cidades com melhor qualidade de vida.

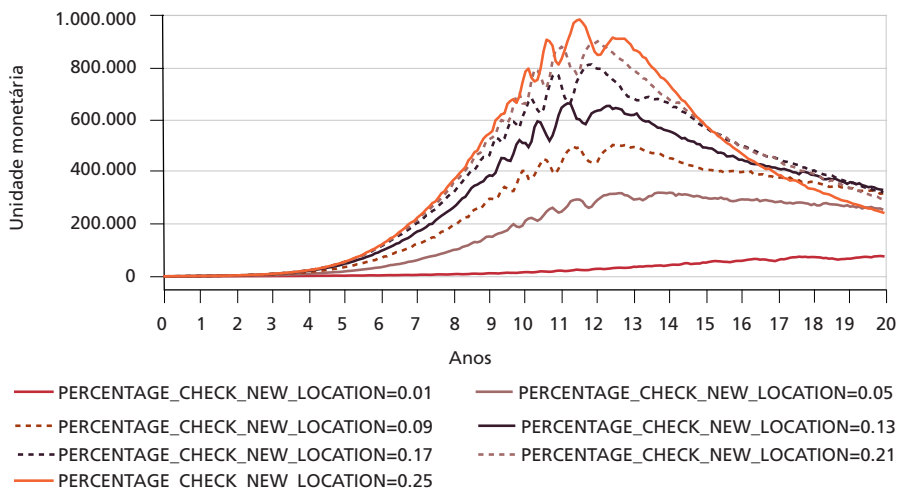
GRÁFICO 6
Análise do mercado imobiliário: resultados¹ de desemprego para Porto Alegre



Elaboração do autor.

Nota: ¹ Para 2% da população da ACP de Porto Alegre e média de quatro simulações.

GRÁFICO 7
Análise do mercado imobiliário: resultados¹ do produto interno bruto (PIB) para a ACP de Porto Alegre



Elaboração do autor.

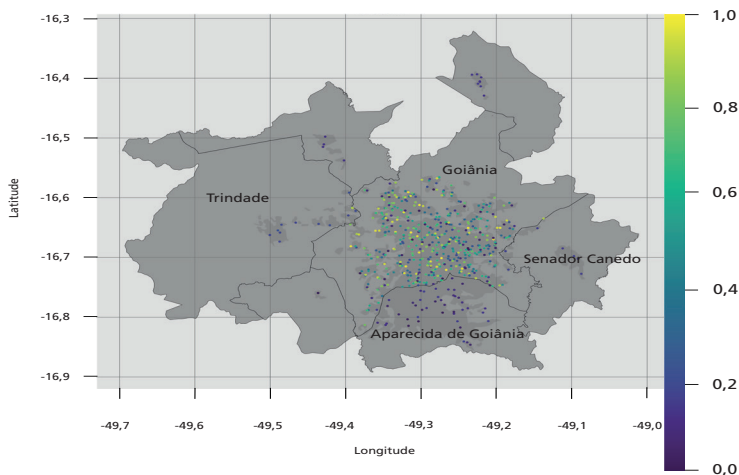
Nota: ¹ Para 2% da população da ACP de Porto Alegre e média de quatro simulações.

RESULTADOS GERAIS: REGIÕES METROPOLITANAS DO BRASIL

Este capítulo apenas apresenta ilustrativamente, e de forma não exaustiva, resultados para algumas outras Áreas de Concentração de População (ACPs) que constam do *PolicySpace*, porém não foram utilizados nos capítulos anteriores.

Os dados indicam que a espacialidade é mais marcante no nível das firmas do que no das famílias. Esses resultados não estão explicitamente presentes no início da simulação, embora o número de empresas seja derivado de dados oficiais. A simulação do modelo exacerba a diferenciação de capacidade industrial entre municípios mais e menos populosos. Com isso, as empresas localizadas mais próximas dos mercados consumidores, ao final do período, pagam mais impostos (figura 1), empregam mais (figura 2)¹ e obtêm maiores lucros (figura 3).

FIGURA 1
Impostos pagos pelas firmas ao final do período para o caso da ACP de Goiânia, com 2% da população
 (Em unidade monetária padronizada)



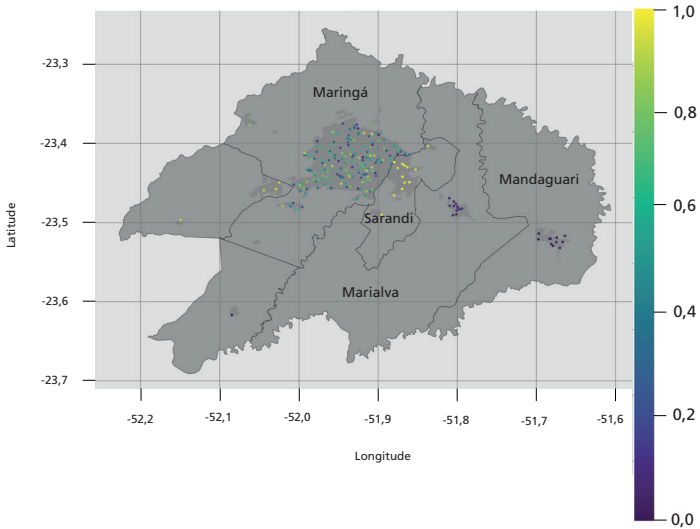
Elaboração do autor.

1. Especificamente para o município de Sarandi, que possui alta população e baixo número de empresas, a média de empregados se apresenta mais elevada que nos outros municípios.

FIGURA 2

Empregados por firmas ao final do período para o caso da ACP de Maringá, com 2% da população

(Em número de empregados padronizado)

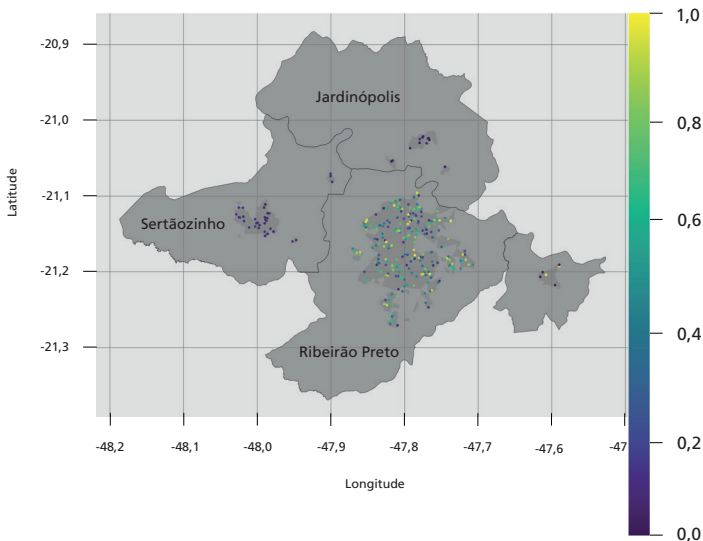


Elaboração do autor.

FIGURA 3

Lucros das firmas ao final do período para o caso da ACP de Ribeirão Preto, com 2% da população

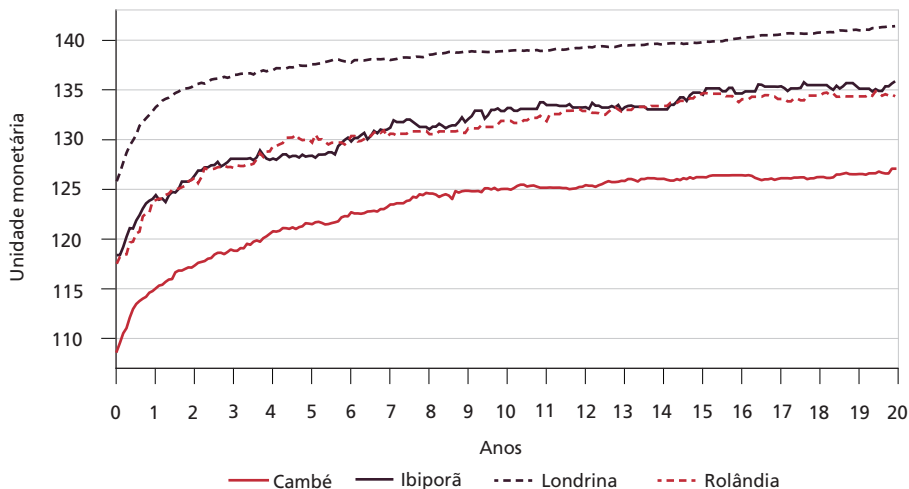
(Em unidade monetária padronizada)



Elaboração do autor.

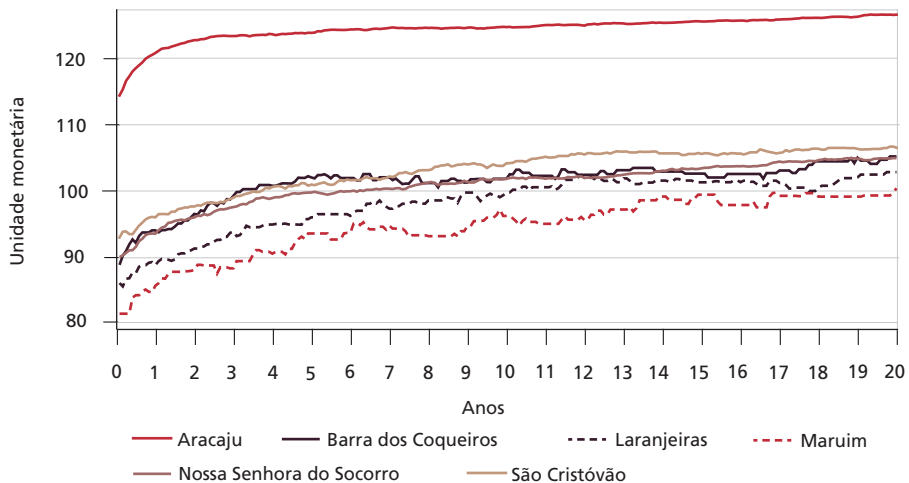
Consistentemente, também, os valores dos imóveis são maiores nos municípios centrais, tais como nas ACPs de Londrina (gráfico 1) e Aracaju (gráfico 2).

GRÁFICO 1
Evolução dos preços municipais médios de imóveis para simulação do caso da ACP de Londrina, com 2% da população



Elaboração do autor.

GRÁFICO 2
Evolução dos preços municipais médios de imóveis para simulação do caso da ACP de Aracaju, com 2% da população

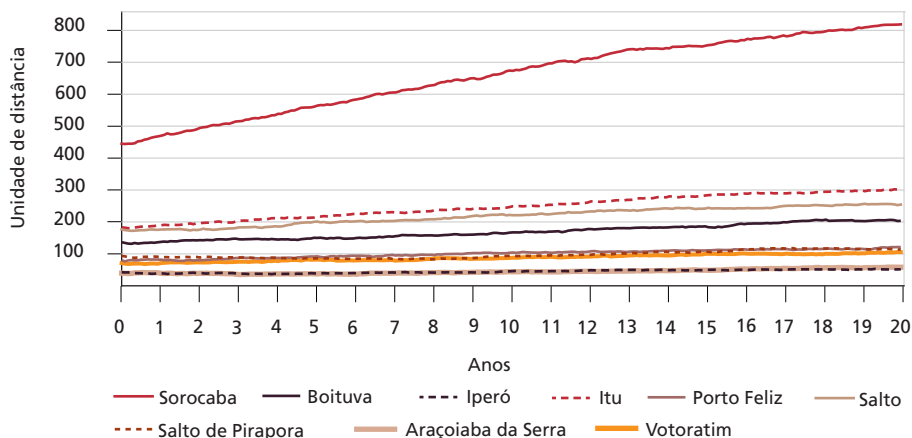


Elaboração do autor.

Finalmente, é possível observar, para cada variação de parâmetro, regra ou ACP, a demanda por transporte municipal, dado que as localizações das famílias e das firmas dos empregados de cada família estão embutidas no modelo. O gráfico 3 apresenta o caso de Sorocaba, e o gráfico 4, o de Crato-Barbalha-Juazeiro do Norte.

GRÁFICO 3

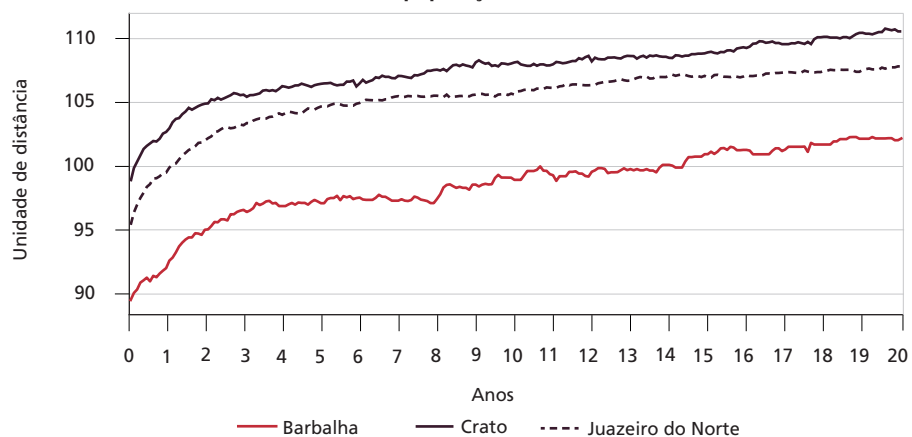
Evolução da demanda por transporte municipal para a configuração padrão na ACP de Sorocaba, com 2% da população



Elaboração do autor.

GRÁFICO 4

Evolução da demanda por transporte municipal para a configuração padrão na ACP de Juazeiro do Norte, com 2% da população



Elaboração do autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este livro apresenta em detalhes uma plataforma computacional e um modelo de simulação espacial de políticas públicas a partir da modelagem baseada em agentes (*agent-based modeling* – ABM).

Além disso, faz revisão crítica da literatura, conceitua ABM e expõe argumentos e críticas em relação à metodologia. Na sequência, detalha o *PolicySpace* de modo a permitir sua utilização, replicação e alteração, com adequação da proposta a simulações e perguntas de pesquisa específicas. Nesse sentido, segue o protocolo ODD (*Overview, Design Concepts and Details*) e lista o propósito, as entidades, os estados e as escalas do modelo, relata processos e execução temporal. Apresenta ainda os dados utilizados e sua configuração inicial. Alguns submodelos, em especial, a operacionalização dos mercados, das firmas, os parâmetros e os impostos são também detalhados. Finalmente, instruções acerca da operacionalização do *PolicySpace* e as várias alternativas de simulações e testes são explicitadas.

A validação é feita por meio da ilustração de razoabilidade de indicadores macroeconômicos, além da demonstração de similaridade do comportamento dos impostos. A validação do conjunto das Áreas de Concentração de População (ACPs) é feita por meio de comparações das distribuições normalizadas e do teste de Kolmogorov-Smirnov. Logo em seguida, uma série de análises de sensibilidade é apresentada de modo a dar ao leitor melhor compreensão dos mecanismos e comportamentos do modelo.

Os mercados apresentados são simples, e as análises, apenas indicativas. Entretanto, entende-se que o livro efetiva a contribuição de apresentar um modelo empírico completo, para as 46 ACPs brasileiras, que permite com certa facilidade a análise cruzada de elementos distintos que influenciam a análise de políticas públicas. Nesse sentido, podem-se observar efeitos de decisões das firmas (frequência de ajuste de preços ou decisões sobre salários) de forma espacializada e dinâmica, com resultados na arrecadação de impostos ou na demanda por mobilidade, por exemplo. Ou ainda, observar efeitos da produtividade, das regras de distribuição de impostos ou do comportamento do mercado imobiliário, para inúmeras combinações de parâmetros e alternativas.

Para além da contribuição da plataforma e sua disponibilização pública, o estudo realizou algumas ponderações em relação aos efeitos de distribuição tributária entre municípios de uma mesma ACP. Os resultados reforçam a relevância do Fundo de Participação Municipal (FPM) como regra distributiva. A alternativa testada de união de municípios para efeitos de distribuição mostrou-se apenas com ganho marginal. Entretanto, na ausência do FPM, a união municipal resultaria em efeitos próximos ao da sua presença, de acordo com as simulações feitas.

Contudo, esse esforço é inicial e permite vislumbrar possibilidades simples de expansão que se aproveitem do esforço já realizado, conforme descrito na seção sobre modularização da plataforma (seção 2 do capítulo 2).

Ilustrativamente, podem ser detalhados como vemos a seguir.

- 1) O funcionamento das firmas, com sofisticação das regras de decisão ou inovações nos produtos, criando produtos heterogêneos ou diferenciados por setores de atividade.
- 2) A mobilidade, com desenho fino de rotas diferenciadas no caminho casa-trabalho e inclusão de modais no sistema de transporte, já que a geração de demanda está dada e é compatível com quaisquer outras variações do modelo como um todo.
- 3) A análise da qualificação dos empregados e a produtividade das firmas, pois no *PolicySpace* a qualificação é fixa. Porém, já há poupança das famílias, e essa poupança poderia ser utilizada como investimento em qualificação.
- 4) As questões de demografia, análise da família ou até questões de gênero, dado que vários parâmetros associados à família e à demografia já estão implementados. Bastaria, por exemplo, criar o processo de constituição (e dissolução) de novas famílias.
- 5) O aprofundamento da imensa quantidade de dados já gerados para as análises feitas, mas não detalhadas com a profundidade requerida.

E, em especial, obviamente, ainda podemos fazer a seguinte enumeração.

- 1) Análise da plataforma em outras escalas, tais como o detalhamento intraurbano, ou a análise regional, microfundamentada.
- 2) Mercado de crédito, investimento e financiamento, de modo a compor modelo macroeconômico mais robusto e permitir a execução de validações mais específicas, como a realizada por Guerini e Moneta (2017).¹

1. Guerini, M.; Moneta, A. A method for agent-based models validation. *Journal of Economic Dynamics and Control*, v. 82, p. 125-141, 2017.

- 3) Análise mais detalhada e fidedigna da questão tributária e de alternativas de mudanças tributárias.
- 4) E, finalmente, porém não de forma exaustiva novamente, detalhamento e especificidades do mercado imobiliário com peculiaridades típicas do ciclo de vida dos imóveis e seu vínculo ao sistema de financiamento da economia.²

É isso.

2. Para colaborações, entre em contato.

Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

Assessoria de Imprensa e Comunicação

EDITORIAL

Coordenação

Cláudio Passos de Oliveira

Supervisão

Andrea Bossle de Abreu

Revisão

Carlos Eduardo Gonçalves de Melo

Elaine Oliveira Couto

Lara Alves dos Santos Ferreira de Souza

Luciana Nogueira Duarte

Mariana Silva de Lima

Vivian Barros Volotão Santos

Bruna Oliveira Ranquine da Rocha (estagiária)

Cynthia Neves Guilhon (estagiária)

Editoração

Aline Cristine Torres da Silva Martins

Carlos Henrique Santos Vianna

Mayana Mendes de Mattos (estagiária)

Vinícius Arruda de Souza (estagiário)

Capa

Aline Cristine Torres da Silva Martins

Mayana Mendes de Mattos (estagiária)

Vinícius Arruda de Souza (estagiário)

*The manuscripts in languages other than Portuguese
published herein have not been proofread.*

Brasília

SBS – Quadra 1 – Bloco J – Ed. BNDES,

Térreo – 70076-900 – Brasília – DF

Fone: (61) 2026-5336

Correio eletrônico: livraria@ipea.gov.br

Bernardo Alves Furtado é pesquisador do Ipea e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Possui doutorado em geociências e economia, mestrado em geografia, e é especialista em urbanismo e arquiteto. Já foi professor e coordenador de vários cursos, publicou artigos, capítulos e livros. Além disso, investiga políticas públicas urbanas e é professor do mestrado do Ipea. A partir de 2014, passa a enfatizar a análise espacial do ponto de vista da abordagem de sistemas complexos e da metodologia de modelagem baseada em agentes.

Missão do Ipea

Aprimorar as políticas públicas essenciais ao desenvolvimento brasileiro por meio da produção e disseminação de conhecimentos e da assessoria ao Estado nas suas decisões estratégicas.

ISBN 978-85-7811-320-9



9 788578 113209

ipea Instituto de Pesquisa
Econômica Aplicada

MINISTÉRIO DO
PLANEJAMENTO,
DESENVOLVIMENTO E GESTÃO

