

idp

idn

MESTRADO PROFISSIONAL EM ECONOMIA

**CONTÁGIO, CONTENÇÃO EPIDEMIOLÓGICA E IMPACTO
ECONÔMICO EM REDES URBANAS: UMA ABORDAGEM DE
AGENTES**

JOÃO VICTOR LISBÔA DE VASCONCELOS

Brasília-DF, 2022

JOÃO VICTOR LISBÔA DE VASCONCELOS

CONTÁGIO, CONTENÇÃO EPIDEMIOLÓGICA E IMPACTO ECONÔMICO EM REDES URBANAS: UMA ABORDAGEM DE AGENTES

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Economia, Políticas Públicas e Desenvolvimento, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia, Políticas Públicas e Desenvolvimento.

Orientador

Professor Doutor Sérgio Ricardo de Brito Gadelha

Brasília-DF 2022

JOÃO VICTOR LISBÔA DE VASCONCELOS

CONTÁGIO, CONTENÇÃO EPIDEMIOLÓGICA E IMPACTO ECONÔMICO EM REDES URBANAS: UMA ABORDAGEM DE AGENTES

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Economia, Políticas Públicas e Desenvolvimento, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia, Políticas Públicas e Desenvolvimento.

Aprovado em 29 / 07 / 2022

Banca Examinadora

Prof. Dr. Sérgio Ricardo de Brito Gadelha - Orientador

Prof. Dr. Mathias Schneid Tessmann

Prof. Dr. Geraldo Sandoval Góes

V331c Vasconcelos, João Victor Lisboa de
Contágio, contenção epidemiológica e impacto econômico em redes
urbanas: uma abordagem de agentes / João Victor Lisboa de Vasconcelos.
– Brasília: IDP, 2022.

66 p.: il. Color.
Inclui bibliografia.

Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação) – Instituto Brasileiro de
Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa – IDP, Mestrado Profissional em
Economia, Brasília, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Ricardo de Brito Gadelha.

1. Contágio. 2. COVID-19. 3. ABM. 4. SIRD. 5. Redes urbanas. 6. Distanciamento
social. I. Título.

CDD: 342.1

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Ministro Moreira Alves
Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa



RESUMO

A partir de um modelo baseado em agentes (ABM) que simula dinâmicas migratórias, epidemiológicas e econômicas na rede urbana da região metropolitana de Goiânia, estudamos o impacto econômico da implementação de medidas restritivas locais contra uma doença semelhante à COVID-19. Introduzimos um fator medo que condiciona dinamicamente as decisões de consumo e oferta de trabalho de cada agente conforme o monitoramento da saúde do seu círculo social próximo. Os resultados mostram que: (1) medidas de contenção em geral impactam negativamente o consumo, a produção e a renda no curto prazo; (2) o impacto econômico líquido destas medidas, considerando seu efeito na redução do medo dos agentes e na diminuição do índice de afastamento da mão de obra, depende do quão proporcionalmente os indivíduos abdicam de interações econômicas em comparação às interações totais após isolamento. Em alguns dos cenários em que tal abdicação é menos do que proporcional, a imposição de medidas restritivas gera resultados positivos em produção, renda e consumo na comparação com o cenário sem restrições de contato. O número de mortes e casos é sempre inversamente proporcional à intensidade do isolamento.

Palavras-chaves: Contágio, COVID-19, ABM, SIRD, Redes Urbanas, Distanciamento social

ABSTRACT

Through an agent-based model (ABM) in which migratory, epidemiologic and economic dynamics are simulated in a graph-based representation of the Goiânia Metropolitan Region, we study the economic effects of local anti-contagion policies in response to a COVID-19-like disease. We include agents with dynamic consumption and work-hour supply decisions based on their fear of contagion risk, which is simulated by introducing close social circles monitored for their health by each agent every period. Results show that: (1) Interaction restrictions tend to have negative effects on consumption, production and income within the short-term; (2) the net economic impact of such restrictions, considering the positive effect of these policies on reducing agents' fears and avoiding sick leaves among the workforce, depends on how much agents reduce economic interactions proportionate to the reduction in total interactions under social distancing. In this sense, the contagion-reducing effects of restrictive policies may cause positive economic effects when compared to scenarios with no such policies. Higher degrees of social distancing reduce deaths and infections in all scenarios.

Keywords: Contagion, COVID-19, ABM, SIRD, Urban Networks, Social Distancing

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1

Diagrama do estado de saúde dos agentes

.....35

LISTA DE TABELA

Tabela 1 Diagrama do estado de saúde dos agentes	26
Tabela 1 Diagrama do estado de saúde dos agentes	28
Tabela 1 Variáveis definidoras de um agente no modelo	29
Tabela 4 Categorias de índice de eficácia migratória (IEM)	30
Tabela 5 Cidades da Região Metropolitana de Goiânia classificadas por IEM	31
Tabela 6 Probabilidade emigratória/imigratória por cidade	33
Tabela 7 Número de interações diárias totais por cidade	34
Tabela 8 Probabilidades de hospitalização, internação em UTI e morte por faixa etária	35
Tabela 9 Comparativo entre o resultado epidemiológico real e o simulado	39
Tabela 10 Resultados das simulações para o cenário base	39

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 Matriz de probabilidade migratória entre cidades da Rede Metropolitana de Goiânia no modelo	32
Quadro 2 Resultados das simulações para o cenário vermelho	40
Quadro 3 Resultados das simulações para o cenário verde	43
Quadro 4 Resultados das simulações para o cenário verde	46
Quadro 5 Resultados das simulações para $\sigma = 0,6$	48
Quadro 6 Resultados comparativos das simulações para $\sigma = 0,6$ (%)	49
Quadro 7 Impacto dos níveis de isolamento em cada variável por ponto percentual de isolamento para $\sigma = 0,6$ (%)	49
Quadro 8 Resultados das simulações para $\sigma = 0,7$	51
Quadro 9 Resultados comparativos das simulações para $\sigma=0,7$ (%)	51
Quadro 10 Impacto dos níveis de isolamento em cada variável por ponto percentual de isolamento para $\sigma=0,7$ (%)	52
Quadro 11 Comparativo das principais variáveis econômicas com e sem transferências de renda $\sigma=0,6$ (%)	54
Quadro 12 Comparativo das principais variáveis econômicas com e sem transferências de renda $\sigma = 0,7$	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Contextualização do Tema	12
1.2	Problema de Pesquisa	12
1.3	Hipóteses da Pesquisa	13
1.4	Objetivos Geral e Específicos	13
1.5	Delimitação do Escopo do Estudo	14
1.6	Justificativa do Tema: Relevância e Contribuição	14

2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
----------	------------------------------------	-----------

3	METODOLOGIA	22
3.1	Modelo Teórico: Economia, Epidemiologia e Migração	23
3.1.1	Consumo	23
3.1.2	Produção	25
3.2	Descrição dos Dados e Tratamento das Variáveis	29

4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	38
4.1	Resultados epidemiológicos	39
4.1.1	Cenário base ($\rho = 0,5$).....	39
4.2	Cenário Vermelho: 25% de isolamento ($\rho = 0,5$).....	40
4.3	Cenário Verde: 40% de isolamento ($\rho = 0,5$).....	43
4.4	Cenário Azul: 55% de isolamento ($\rho = 0,5$).....	46
4.5	Comparativo de resultados por níveis de isolamento para $\sigma = 0,6$ e $\sigma = 0,7$	48
4.5.1	Resultados para $\sigma=0,6$ por grau de isolamento	48
4.5.2	Resultados para $\sigma=0,7$ por grau de isolamento	51
4.6	Resultados com transferências diretas	54

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES DE POLÍTICA	57
	Referências	61



1

INTRODUÇÃO

No contexto atípico de uma pandemia nas proporções consideráveis como a de COVID-19, agentes públicos, instituições, empresas e indivíduos passam a lidar com decisões críticas que se amparam na dicotomia entre autopreservação sanitária e minimização de danos à economia. Tal controvérsia, menos dicotômica do que pode sugerir ser em relance, permeia escolhas em todos os níveis da sociedade, impondo custos de oportunidade significativos que se manifestam, por exemplo, em nível institucional, nos decretos de distanciamento social, *lockdowns*, restrições de circulação diversas, programas de auxílio e afins.

Mais que isso, no entanto, há de se destacar que indivíduos, para muito além de imposições legais, reagem organicamente a contextos e incentivos, adaptando seus comportamentos sociais (e conseqüentemente seus padrões de consumo, poupança, investimento e afins) quando defrontados com condições de diferentes naturezas. Em um contexto no qual os incentivos se relacionam intimamente com questões sanitárias como a sobrevivência do indivíduo e de indivíduos próximos, as considerações econômicas, embutidas no processo decisório dos agentes, passam a ser especialmente relevantes.

Tendo esse arcabouço em vista, percebe-se que modelos epidemiológicos - embora capazes de modelar a dinâmica de contágio por trás dos incentivos e desincentivos aos agentes - de pouco servem, isoladamente, para estudar as conseqüências macroeconômicas e microeconômicas desses fenômenos. É nesse sentido e na esteira de políticas públicas baseadas em evidências que têm surgido interfaces crescentes entre saúde e economia, especialmente no contexto pandêmico e nas pressões decisórias severas que foram impostas sobre o setor público.

Entre as várias medidas restritivas tomadas por governos ao longo da pandemia, talvez a mais controversa na dicotomia economia-saúde seja a implementação de restrições de movimento, aglomeração

e comércio, os conhecidos *lockdowns*. A partir dessa referência de debate público, acredita-se que o tema precise ser investigado mais a fundo, incorporando as ferramentas de modelagem de agentes utilizadas pela ciência econômica para cobrir o outro lado dessa relação supostamente dicotômica.

Tendo em vista os efeitos dos *lockdowns* sobre a capacidade dos agentes de efetivarem suas decisões econômicas (como restrições de circulação, contato e impossibilidade de consumo de determinados bens ou serviços), bem como a mudança de comportamento causada pelo medo do contágio, nota-se uma possível relação não-linear entre as medidas de combate ao vírus e o potencial dano econômico. Na ausência de controles do contágio, pessoas responderão ao maior risco de adoecimento contraindo exposição e reduzindo a frequência/duração de atividades econômicas. Na implementação de controles de contágio que reduzem a exposição dos agentes, a percepção de risco desses agentes pode até diminuir, o que os incentivaria a resumir suas atividades econômicas normais, mas a possibilidade de fato engajar nessas atividades pode estar limitada por determinações legais para conter a disseminação da doença.

Tal não-linearidade sugere a existência de um ponto ótimo no desenho das intervenções, o que envolve não só sua natureza, mas a também sua forma de implementação (tais como duração, lógica de ativação, critérios de manutenção, amplitude geográfica etc.). É a busca desse equilíbrio que estimula a definição do seguinte problema de pesquisa: Quais são os efeitos da implementação de *lockdowns* sobre a economia, e como os agentes reagem a esses *lockdowns*?

Considerando que *lockdowns* proíbem o desempenho de parte da atividade econômica, e assumindo que agentes reagem dinamicamente às condições pandêmicas (fator medo), estabelece-se como hipóteses:

1ª Hipótese: *Lockdowns* geram efeitos negativos sobre a economia no curto prazo;

Essa hipótese se baseia nos efeitos lógicos da implementação de medidas de combate ao contágio. A percepção de que as limitações impostas por governos para conter a pandemia limitam também a atividade econômica é o fundamento das investigações da literatura

exposta ao longo dessa dissertação. Acredita-se que tal relação é razoável no curto prazo tendo em vista as restrições objetivas de movimento e interação impostas por políticas públicas, que inviabilizam ou limitam certos comportamentos econômicos e impactam no produto e em demais variáveis de interesse. (AURAY e EYQUEM, 2020; FORSYTHE et al., 2020; KONG e PRINZ, 2020; JARAVEL e O'CONNELL, 2020) .

2ª Hipótese: Há uma relação não-linear entre efeitos negativos dos lockdowns sobre a economia e tempo, com efeitos positivos originados da contenção do contágio e na redução do fator medo;

No longo prazo, acredita-se haver efeitos positivos sobre a economia em comparação ao cenário alternativo sem intervenções. Essa hipótese se baseia na percepção de que o controle do contágio gera efeitos positivos sobre as expectativas dos agentes, reduzindo o fator medo e os impactos sobre a disposição a consumir, ofertar trabalho e produzir. Além dos efeitos sobre expectativas, acredita-se que o controle da curva de contágio diminui o impacto objetivo da doença sobre a quantidade de indivíduos capazes de agir economicamente, seja consumindo, produzindo, demandando ou ofertando trabalho, uma vez que a prevalência de casos ativos e suas complicações acaba por fisicamente retirar pessoas do mercado de trabalho e das vias de investimento e consumo (FANG et al., 2020; ALTIG et al., 2020; GOOLSBEE e SYVERSON, 2020; CROSSLEY et al., 2020).

O objetivo geral deste estudo é avaliar os efeitos econômicos de diferentes formas de *lockdown* sobre uma área geográfica definida, com agentes migrantes e reativos. Além disso, planeja-se chegar a uma forma ideal de *lockdown*, do ponto de vista de equilíbrio economia-saúde, dadas essas condições. Visando alcançar essa finalidade, propõe-se como objetivos específicos: modelar agentes que reajam com informação limitada ao seu ambiente sanitário e mudem seus padrões de consumo; modelar uma dinâmica de contágio realista com base em modelos SIRD e simulações migratórias; estabelecer diferentes tipos de *lockdown*; simular economias se conectando com os objetivos específicos anteriores por períodos definidos; e construir indicadores de interesse para comparar o desempenho econômico.

Este é um estudo baseado em agentes, que alia modelos epidemiológicos com modelos macroeconômicos

microfundamentados. Nesse sentido o estudo não pretende avaliar a consistência de modelos de contágio, nem os desenvolver. Tais modelos serão apenas um ferramental analítico a ser combinado com análises econômicas baseadas em agentes e seguirão as prescrições metodológicas de sua literatura específica.

Este também não será um estudo econométrico. Não haverá investigação estatística dos condicionantes ou determinantes de contágio ou de dinâmica econômica para casos reais com a intenção de identificar variáveis significantes.

Além disso, a pesquisa em questão traz contribuições acerca da análise da eficiência de diferentes medidas de contenção em termos de redução de danos econômicos e sanitários em um cenário pandêmico. Mais que isso, a pesquisa contribui com ferramental para outros temas em modelagem de agentes, uma vez que traz considerações sobre migração, redes urbanas, equilíbrio geral e grafos. Assim, vislumbra-se tanto relevância teórica-ferramental, quanto contribuições práticas em políticas públicas.



?

2

**SERVIÇO DE CONCESSÃO DE
DIÁRIAS E PASSAGENS - SCDP**

Segundo NAPOLETANO (2018), um sistema econômico é formado por agentes heterogêneos que interagem e respondem a condições criadas por suas próprias decisões. Modelos baseados em agentes tentam computar tais dinâmicas a partir de regras definidas individualmente para cada parte do modelo. Os agentes podem ser países, organizações, pessoas, cidades e qualquer objeto delimitável capaz de exercer comportamentos modeláveis (FARMER e FOLEY, 2009). Como forma de representar as relações temporais de impulso-resposta, modelos dessa categoria tendem a se organizar em períodos nos quais os agentes tomam suas decisões conforme as regras comportamentais estabelecidas *a priori*, sendo os resultados de interesse avaliados a partir de determinadas métricas. A natureza dos modelos de agentes gera uma combinação fluida de aspectos teóricos (fundamentais para basear o desenho dos comportamentos *a priori* dos agentes), empíricos (relevantes na parametrização do modelo para que seja capaz de refletir fenômenos reais adequadamente) e computacionais (importantes para operacionalizar o modelo em si e gerar resultados). Essa natureza tríplice é útil para analisar fenômenos cujos efeitos macro são complexos e não necessariamente redutíveis a comportamentos individuais em uma relação direta, de simples agregação.

Mais que isso, a abordagem de baixo-para-cima de modelos de agentes permite chegar a equilíbrios relevantes sem necessariamente aumentar a complexidade dos pressupostos necessários para viabilizar sistemas complexos de otimização em modelos tradicionais. Essa vantagem metodológica é relevante quando se considera a escala de certos objetos de estudo, como, por exemplo, modelagens de equilíbrio geral micro-fundamentado. No lugar de uma cadeia de pressupostos e assunções cada vez menos realistas impostos como forma de garantir matematicamente a obtenção de soluções para os problemas de otimização estudados, a modelagem de agentes permite, a partir de comportamentos individuais simples, mas coerentes, a obtenção de resultados emergentes (KIRMAN, 1992). A menor dependência em hipóteses e pressupostos fortes sobre as partes do modelo permite assim maior flexibilidade nos parâmetros e condições que circundam o

fenômeno, o que fornece possibilidades mais profundas na análise de testes de stress e sensibilidade.

As vantagens dos modelos de agentes são, em particular, relevantes quando se trata de contágio epidemiológico e suas consequências econômicas, uma vez que o contágio em si é consequência de interações entre agentes, cuja ocorrência depende de decisões de movimento e prevenção individuais. Por outro lado, a dinamicidade do aspecto econômico se dá pelo fato de decisões econômicas de consumo, investimento, poupança, migração e prevenção de contágio gerarem interações com potencial de infecção. Ao ponderarem o risco-benefício de exposição considerando a desutilidade de adoecer, os agentes reagem às condições epidemiológicas que os cercam, gerando efeitos epidemiológicos e econômicos a partir do comportamento escolhido. Os efeitos desses comportamentos mudam as condições do ambiente e fazem com que esses agentes se adaptem mais uma vez, em um ciclo perpétuo de *input-output*. O objeto estudado pelo modelo passa a ser tratado como um sistema complexo, emergente, no qual comportamentos micro geram efeitos macro diversos. Uma vez que o fenômeno de contágio, em um contexto geográfico-migratório, é condicionado por decisões granulares dos indivíduos, acredita-se que a abordagem de agentes é a forma mais adequada para o problema.

A literatura que embasa o presente estudo traz contribuições da epidemiologia e da economia em interface. Nesse sentido, destacam-se modelos de contágio com algum canal macroeconômico de influência sobre uma economia modelada (BUERA et al., 2021; MOSER e YARED, 2021; ATKESON, 2020); modelos baseados em agentes, com redes de contato, características individuais e comportamentos microeconômicos gerando a ligação entre a doença e suas consequências sobre a economia (ACEMOGLU et al., 2020; GLOVER et al., 2020; EICHENBAUM et al., 2020) e modelos de difusão espacial, com redes de contágio e interação que mudam a dinâmica do vírus e de suas medidas de contenção em diferentes modalidades de *lockdown* (FAJGELBAUM et al., 2020). As economias são em geral modeladas a partir de diferentes óticas de equilíbrio geral com variações de complexidade da economia simulada a depender do foco de estudo (mercado de trabalho, contágio, inflação, juros etc.).

Em termos epidemiológicos, os modelos mais comuns são os compartimentais, baseados no modelo SIR (suscetível, infectado, recuperado) e em suas variações. A partir das formulações seminais de KERMACK, MCKENDRICK e WALKER (1927), tais modelos incorporam dinâmicas de contágio entre “compartimentos” de população em diferentes estados de saúde. Com a intenção de analisar dinâmicas mais complexas de contágio, foram adicionados novos estados ao modelo (SIRD, SIRS etc.) como a possibilidade de morte, imunidade temporária e afins. É nesse sentido que surgem modelos de contágio baseados em agentes com comportamentos modelados de maneira individual e que se comportam em espaços definidos como cidades, países, bairros e afins, em uma lógica de migração-interação (ARINO e VAN DEN DRIESSCHE, 2003).

Em resumo, estabelece-se um modelo para a dinâmica da doença, um modelo de política sanitária, um modelo de economia e um conjunto de indicadores de impacto econômico.

O modelo epidemiológico define o grau de contágio da doença, o que modifica a política sanitária imposta pelas autoridades competentes. As partes que compõem a economia estão especificadas em algum modelo comportamental, no qual pessoas, empresas, governos ou abstrações em geral reagirão aos níveis de contágio e às políticas sanitárias. A mudança comportamental gera impactos econômicos a serem medidos com indicadores específicos, modifica a dinâmica da doença e condiciona, indiretamente, as políticas sanitárias em vigor.

As conclusões sobre medidas mitigadoras nos diferentes modelos são variadas. Para ATKESON (2020), por exemplo, o período de medidas restritivas se estende e sugere a necessidade de *lockdowns* intermitentes, com a curva de contágio se comportando em ondas. FAJGELBAUM *et al.* (2020) sugere que medidas restritivas por área em uma zona metropolitana, considerando fluxos de transporte, são mais eficientes em termos de contágio e controle de danos econômicos do que restrições uniformes. MOSER e YARED (2021) avaliam a ação governamental em termos de credibilidade, propondo regras mais rígidas para o decreto de restrições de forma a garantir o compromisso do governo com as medidas sanitárias e melhorar a confiança dos agentes em suas decisões econômicas. BUERA *et al.* (2021) conclui que empresas reagem de maneira heterogênea a diferentes medidas

restritivas, com o grau de fricção do mercado de trabalho tendo papel importante nessa dinâmica. Os autores também sugerem que subsídios empregatícios para firmas pagos pelo governo podem aliviar danos econômicos. FERGUSON *et al.* (2020) propõe que a resposta ótima seja uma combinação de medidas de mitigação (para reduzir o número de casos) e supressão (para efetivamente conter a pandemia).

Nesta literatura, destaca-se EICHENBAUM *et al.* (2020), em que os parâmetros de contágio da doença, simulados nos modelos SIR, passam a ser endógenos às decisões econômicas tomadas pelos agentes. Com isso, o efeito da dinâmica de contágio (e consequentemente das próprias decisões econômicas dos agentes) são refletidos nas possibilidades de consumo futuro, o que condiciona a dinâmica de contágio em um ciclo retroalimentado. Os autores assumem uma função de produção simples de mão-de-obra e tecnologia, combinando-a com uma função-utilidade composta por consumo e horas trabalhadas. O destaque do artigo vai para a introdução de um “tributo de contenção” sobre a restrição orçamentária dos agentes, que representa uma redução da renda disponível como forma de *proxy* para medidas de combate ao contágio.

Considerando o foco deste trabalho na região metropolitana de Goiânia (RMG), destaca-se SOUZA (2016) na análise dos seus aspectos urbanos e fluxos migratórios. Fica evidente a predominância de movimentos migratórios centrífugos (centro-periferia), a grande participação de migrantes na população da RMG, o inchaço dos municípios marginais em comparação a Goiânia, a alta proporção de jovens migrantes e a preponderância de movimentos pendulares motivados por razões econômicas (que refletem desigualdades entre os nós da rede urbana).

Como principal referência de modelagem epidemiológica para a RMG tem-se as notas técnicas do Grupo de Trabalho de Modelagem da Expansão Espaço-Temporal da COVID-19 em Goiás. O grupo parte de um modelo de agentes com fluxos migratórios para simular a evolução da doença no Estado, utilizando métricas de influência urbana para, a partir de fluxos migratórios, simular dinâmicas de contágio. A Nota Técnica 01, que desenha os fundamentos do modelo, traz pressupostos interessantes para o estudo epidemiológico da RMG:

2.1.1 O Distanciamento Social Gera Queda Nas Taxas De Contágio. Tal Hipótese Foi Verificada No Estudo; Sendo A Correlação Entre Ambos De -0,742;

2.1.2 Há Mais Transmissões Da Doença De Maneira Intramunicipal Do Que Intermunicipal;

2.1.3 A Probabilidade De Transmissão Intermunicipal Função Direta Do Tamanho Em População Dos Municípios E Inversa Da Distância Entre Eles;

2.1.4 Faixas Etárias Diferentes Tem Taxas De Letalidade, Desenvolvimento De Sintomas E Permanência Em Hospital Diferentes, Sendo A População Mais Velha Mais Suscetível



3



3

METODOLOGIA

3.1 MODELO TEÓRICO: ECONOMIA, EPIDEMIOLOGIA E MIGRAÇÃO

A cada período, agentes decidem quanto irão consumir no presente e quanto irão poupar. Ao mesmo tempo, firmas fixam o nível de produção.

3.1.1 CONSUMO

A decisão de consumo de cada agente depende da existência de restrições econômicas na cidade em que está, bem como da ponderação de risco retorno a partir da expectativa de ser infectado caso se exponha (medo).

Pessoas têm função de utilidade Cobb-Douglas para bens C e reservas de precaução (S):

$$U(C, S) = C^a \times S^b \quad (1)$$

Sua renda consiste nos salários recebidos pelo trabalho somados aos rendimentos das suas reservas acumuladas, assumidos salários fixos. Pessoas são retiradas do *pool* de mão de obra quando ficam doentes, morrem, vão para a UTI ou emigram.

De forma a simular o medo nas decisões econômicas dos indivíduos, cada agente conta com um “círculo social” de até 5 agentes aos quais ele monitora a cada período. A cada agente desse círculo social que se torna doente, cresce o medo do agente principal, que passará a retrain sua oferta de horas de trabalho e seu consumo a partir da proporção de infectados na sua rede próxima.

Assim, o agente adaptará tanto a sua preferência pelo consumo imediato a , como forma de simular o receio de engajar-se em atividades econômicas no presente, quanto a oferta de horas de

trabalho por dia. Sendo assim, o fator medo m_{it} do indivíduo i no tempo t , será a quantidade de pessoas doentes em seu círculo social sobre a quantidade total de pessoas em seu círculo social:

$$m_{it} = \frac{Q_{doentes_{it}}}{TotalCirculoSocial_{it}} \quad (2)$$

Assumindo que a demanda nasce de uma função utilidade Cobb-Douglas na forma:

$$U(C_d, S) = C_d^a \times S^b \quad (3)$$

Sendo r a renda do indivíduo, P_c o preço do consumo imediato, a e b parâmetros de preferência entre consumo e reservas, tem-se que a demanda ótima de consumo (C_d^*) será:

$$C_d^* = \frac{r}{p_c} \times \frac{a}{a+b} \quad (4)$$

Por padrão e de forma a simular agentes neutros entre consumo presente e futuro, assume-se $a = 0.5$ e $b = 0.5$. No entanto, tendo em vista o efeito do medo sobre as decisões intertemporais de consumo dos agentes, que, temerosos, retraem consumo presente e poupam para obter liquidez futura, a cada período tem-se, para o agente i :

$$a_{it} = 0.5 \times (1 - m_{it}) \quad (5)$$

$$b_{it} = 1 - a_{it} \quad (6)$$

Sendo m_{it} o fator medo de cada indivíduo e $0 \leq m_{it} \leq 1$.

Considera-se, também, a existência de um fator medo por cidade, \overline{m}_{jt} , obtido a partir da média do medo individual de cada habitante. Tendo em vista que cada cidade j tem preço distinto e cada indivíduo i tem renda própria r no período t , tem-se que o consumo ótimo e as reservas ótimas do indivíduo i na cidade j no tempo t serão:

$$C_{dijt}^* = \left(\frac{r_{it}}{p_{cjt}} \times \frac{a_{ijt}}{a_{ijt} + b_{ijt}} \right) \times (1 - \overline{m}_{jt}) \quad (7)$$

$$S_{ijt}^* = r_{it} - C_{dijt}^* \quad (8)$$

A demanda ótima de reservas de precaução (S^*) no tempo t , na cidade j , será:

$$S_{djt}^* = \sum_{i=1}^n S_{ijt}^* \quad (9)$$

A demanda ótima de consumo (C^*) no tempo t , na cidade j , será:

$$C_{djt}^* = \sum_{i=1}^n C_{dijt}^* \quad (10)$$

Considerando a jornada máxima de 8 horas diárias de trabalho, a oferta de trabalho do indivíduo, em horas, será dada por:

$$l_{it} = 8 \times (1 - m_{it}) \quad (11)$$

Sendo m_{it} o fator medo de cada indivíduo e $0 \leq m_{it} \leq 1$.

A renda r por período t do indivíduo i é determinada a partir do salário recebido pelo total de horas trabalhadas ($w_{t-1} \times l_{it-1}$) somado à renda aferida por reservas ($S_{ijt-1}^* \times p_{sjt}$) do período anterior subtraído o consumo imediato do período anterior (C_{dijt-1}^*):

$$r_{it} = (w_{jt-1} \times l_{it-1}) - (C_{dijt-1}^* \times p_{cjt-1}) + (S_{ijt-1}^* \times p_{sjt}) \quad (12)$$

Os indivíduos decidem a quantidade de horas de trabalho ofertadas por dia a cada período t . As reservas são capitalizadas a cada dia. Cada cidade oferta um salário (w) próprio, baseado na ponderação do PIB das cidades da região metropolitana conforme tabela exposta na seção a seguir.

3.1.2 PRODUÇÃO

A produção segue uma função de produção Cobb-Douglas com tecnologia:

$$F(K, L) = A \times K^a \times L^{1-a} \quad (13)$$

Cada cidade da rede tem uma função de produção única. A produção sempre aloca toda a mão de obra (em horas) e o capital disponíveis. Desta forma, há sempre pleno emprego. O setor produtivo é definido pelas seguintes características:

Tabela 1 – Variáveis Componentes do Setor Produtivo

Variável	Descrição
ID	Identificador único do setor produtivo
CIDADE	Cidade em que o setor produtivo está
PRODUÇÃO	Produção no período
TRABALHO (L)	Horas de trabalho utilizadas no período
CAPITAL (K)	Quantidade de capital utilizado no período
DEMANDA	Demanda recebida no período
PREÇO	Preço praticado no período
TECNOLOGIA (A)	Tecnologia de produção da cidade
α	Parâmetro do capital na função de produção
1- α	Parâmetro do trabalho na função de produção

A participação do capital α segue as estimativas de Considera *et al.* (2019). Para chegar a este resultado, os autores assumem, por hipótese, que a economia Brasileira é perfeitamente competitiva, de forma que os fatores sejam remunerados exatamente pela sua produtividade marginal. Com a hipótese adicional de que α em qualquer momento do tempo se aproxima da sua média histórica, torna-se possível estimar α a partir da média histórica de participação do capital na renda nacional, o que está disponível no Sistema de Contas Nacionais. Dessa forma, e em consonância com literatura anterior (Souza Junior (2001), Considera & Pessoa (2013)), assume-se $\alpha = 0,5$.

Consideramos que a produção da cidade surge a partir do volume de interações entre indivíduos. Assim, cada indivíduo, a partir de certa proporção do número de interações diárias que realiza, contribuirá com parte do produto a cada período. Tendo em vista que o número de interações diárias é restrito de maneira objetiva por decisões governamentais (fechamentos de comércio, restrições de horários, limitações de público etc.) e por decisões espontâneas, individuais, dos agentes, conforme o risco percebido de interagir com os demais, expandimos a função de produção Cobb-Douglas para incorporar restrições de contato impostas pelo governo e impactos econômicos causados pelo medo dos indivíduos.

Assim, a produção C_{sjt}^* da firma/cidade j no tempo t será:

$$C_{sjt}^* = (A_j \times K_j^{0.5} \times L_{jt}^{0.5}) \times \text{interaçõesEcon}_{jt} \times \frac{\sum_{i=1}^{\text{população}_{jt}} (1 - m_{it})}{\text{população}_{jt}} \quad (14)$$

Assumindo que nem todas as interações cotidianas contribuem de fato para a produção, o termo $\text{interaçõesEcon}_{jt}$ representa o número de interações econômicas por período na cidade j no tempo t . Tais interações são modificadas diretamente pelo governo a partir de medidas restritivas e correspondem a uma parte das interações totais de cada indivíduo por período. Tendo em vista necessidades básicas a serem supridas por interações econômicas e o receio de contaminar conhecidos próximos, assume-se que a implementação de medidas restritivas tende a fazer com que o número de interações econômicas caia menos do que proporcionalmente à queda de interações sociais não-econômicas (interações com vizinhos, família, amigos etc.). Assim:

Se distanciamento $_{jt} = 1$:

$$\text{interaçõesEcon}_{jt} = \text{interaçõesTotaisDist}_{jt} \times \sigma$$

Se distanciamento $_{jt} = 0$:

$$\text{interaçõesEcon}_{jt} = \text{interaçõesTotais}_{jt} \times \rho$$

Com $\text{interaçõesTotaisDist}_{jt} < \text{interaçõesTotais}_{jt}$; $\sigma > \rho$ e $0 \leq (\sigma; \rho) \leq 1$

Sendo $\text{interaçõesTotaisDist}_{jt}$ o número de interações totais na cidade j no tempo t após a imposição de medidas de distanciamento e $\text{interaçõesTotais}_{jt}$ o número de interações totais na cidade j no tempo t sem medidas de distanciamento.

O termo $\frac{\sum_{i=1}^{\text{população}_{jt}} (1 - m_{it})}{\text{população}_{jt}}$ representa a ponderação da quantidade interações pelo medo dos agentes habitantes da cidade j no tempo t . Tal medo é uma dimensão pessoal e autônoma de cada agente, não dependendo de medidas declaradas pelo governo, e serve como um mecanismo de autopreservação.

O numerador $(\sum_{i=1}^{\text{população}_{jt}} (1 - m_{it}))$ assume o valor máximo $(\sum_{i=1}^{\text{população}_{jt}} (1 - m_{it}) = 1)$ quando nenhum habitante da cidade tem pessoas próximas doentes no seu círculo social

$(m_{1,t}, m_{2,t}, m_{3,t}, \dots, m_{popula\tilde{c}ao_{jt,t}} = 0)$. Nessa situa\c{c}o, tem-se que $\sum_{i=1}^{popula\tilde{c}ao_{jt}} (1 - m_{it}) = popula\tilde{c}ao_{jt}$ e $\frac{\sum_{i=1}^n (1 - m_{it})}{popula\tilde{c}ao_{jt}} = 1$. Logo:

$$C_{sjt}^* = (A_j \times K_j^{0.5} \times L_{jt}^{0.5}) \times intera\tilde{c}oesEcon_{jt} \times 1 \tag{15}$$

O valor m\imino seria alcan\c{c}ado quando todos os indiv\imduos da cidade tivessem apenas pessoas doentes em seus c\imrculos sociais, $(m_{1,t}, m_{2,t}, m_{3,t}, \dots, m_{popula\tilde{c}ao_{jt,t}}) = 1$ e $\frac{\sum_{i=1}^n (1 - m_{it})}{popula\tilde{c}ao_{jt}} = 0$, o que levaria a produ\c{c}o a 0:

$$C_{sjt}^* = (A_j \times K_j^{0.5} \times L_{jt}^{0.5}) \times intera\tilde{c}oesEcon_{jt} \times 0 \tag{16}$$

Como forma de simular as diferen\c{c}as de produtividade entre cidades, cada cidade tem uma tecnologia (A_j) pr\opria. O c\alculo das tecnologias foi feito a partir da propor\c{c}o do menor PIB da rede (Caldazinha), segundo os dados do IBGE para 2019.

Tabela 2 – Tecnologia por cidade	
Munic\ipio	Tecnologia (Propor\c{c}o do PIB)
TEREZOPOLIS DE GOIAS	1,750169347
GOIANAPOLIS	1,946038962
GOIANIA	709,9308937
ABADIA DE GOIAS	1,505824014
GUAPO	2,767644469
APARECIDA DE GOIANIA	161,5651693
GOIANIRA	8,645838208
CATURAI	1,191870192
HIDROLANDIA	6,493286912
NEROPOLIS	10,5114774
SANTO ANTONIO DE GOIAS	2,5355504
BONFINOPOLIS	1,390726993
TRINDADE	25,73202607
SENADOR CANEDO	95,46321439
ARAGOIANIA	1,443775607
CALDAZINHA	1
INHUMAS	14,0284142
BELA VISTA DE GOIAS	10,98756835
NOVA VENEZA	2,5355504
BRAZABRANTES	1,013165741

Tendo em vista que L_{jt} corresponde à oferta total de horas de trabalho na cidade j no tempo t e que a oferta de trabalho de um agente individual é condicionada pelo índice de medo, correspondente à proporção de pessoas doentes no seu círculo social, temos que L_{jt} é:

$$L_{jt} = \sum_{i=1}^n l_{ijt} \quad (17)$$

Sendo l_{ijt} a oferta de horas de trabalho pelo indivíduo i , na cidade j , no tempo t e n a população da cidade j no tempo t .

Há um mecanismo de preços em vigor para cada cidade. O ajuste de preços é feito com base na demanda agregada (C_d) da cidade j como proporção da produção total (C_s), sendo n o número de indivíduos na cidade j . Assim, o preço do bem de consumo na cidade j no período t é dado por:

$$P_{cjt}^* = \frac{\sum_{i=1}^n C_{dijt}^*}{C_{sjt}^*} \quad (18)$$

A cada período, a firma define sua produção com base em todas as horas de trabalho ofertadas e em todo o capital disponível na cidade j que representa. O nível de capital é fixo. A mão de obra disponível corresponde a toda a população habitante da cidade em questão, retiradas as pessoas doentes, as em UTI e as falecidas.

3.2 DESCRIÇÃO DOS DADOS E TRATAMENTO DAS VARIÁVEIS

A dissertação é baseada em modelagem de agentes, que terão características econômicas e físicas-fisiológicas individuais relevantes para estudar seus comportamentos de consumo e oferta de trabalho frente ao avanço da pandemia. A população é gerada a partir de distribuições de probabilidade realistas para cada uma das variáveis que constituem os agentes.

As variáveis que definem cada agente nesse modelo são:

Tabela 3 - Variáveis definidoras de um agente no modelo	
Nome	Descrição
ID	Identificador único de cada indivíduo
Saúde	Estado de saúde do indivíduo (Saudável, Doente, Recuperado, Morto, UTI)

Idade	Idade do indivíduo
Infectado	Se o indivíduo está infectado ou não com o vírus
Cidade	Cidade do indivíduo
Períodos Doente	Quantidade de períodos com Saúde = Doente do indivíduo
Probabilidade de Morte	Probabilidade de Morte do indivíduo, condicionada por características individuais a partir de mortalidade basal
Emigrante	Se o indivíduo saiu o espaço geográfico estudado (emigrou)
a	Parâmetro de preferência para consumo imediato na função utilidade Cobb-Douglas do consumidor
b	Parâmetro de preferência para reservas de precaução na função utilidade Cobb-Douglas do consumidor
Renda	Renda do indivíduo, composta pelo salário no período e pelo retorno sobre a poupança acumulada
Empregado	Se o indivíduo está empregado ou não
Bem1	Quantidade de bens consumidos no período t
Bem2	Quantidade de reservas totais do indivíduo no período t
Emigrante	Variável binária. Se o indivíduo saiu da rede urbana (1) ou não (0)

Os agentes são distribuídos em um grafo no qual os vértices e arestas representam cidades e estradas em uma malha urbana. Para o modelo, foram escolhidas as 20 cidades da zona metropolitana de Goiânia. Cada cidade possui características próprias de densidade, população, estrutura sanitária e atratividade migratória. Agentes podem migrar a cada tempo t (dia) ao longo dessa rede urbana, tomando suas decisões de movimento com base no grau de contágio em cada cidade e na atratividade econômica exercida sobre sua vizinhança. Para simular dinâmicas realistas de migração, usamos o conceito de Índice de Eficácia Migratória (IEM) (BAENINGER, 2008; SOARES, 2014; SOUZA, 2016) adicionado de critérios sanitários que introduzam reatividade aos agentes.

Segundo o IBGE, o IEM é calculado como a razão entre migrações líquidas (imigrantes – emigrantes) e o total de migrações (imigrantes + emigrantes) e indica a atratividade/repulsividade da região.

Tabela 4 – Categorias de índice de eficácia migratória (IEM)	
Classes do índice de eficácia migratória	Classificação da potencialidade migratória
-0,51 a -1,00	Área de Alta Perda Migratória (AP)
-0,30 a -0,50	Área de Média Perda Migratória (MP)
-0,13 a -0,29	Área de Baixa Perda Migratória (BP)
0,12 a -0,12	Área de Rotatividade Migratória (RM)
0,13 a 0,29	Área de Baixa Retenção Migratória (BR)

0,30 a 0,50	Área de Média Retenção Migratória (MR)
0,51 a 1,00	Área de Alta Retenção Migratória (AR)

Fonte: SOARES, 2014; SOUZA, 2016

A cada período, um determinado contingente de agentes de cada cidade migra para outra na rede urbana. O destino da migração é probabilístico, determinado a partir do IEM ponderado pela distância de cada cidade. A classificação de IEM para cada cidade, segundo SOUZA (2016), é:

Tabela 5 – Categorias de índice de eficácia migratória (IEM)		
Cidade	IEM	Valor
TEREZOPOLIS DE GOIAS	AR	0,755
GOIANAPOLIS	BP	-0,21
GOIANIA	RM	0,1
ABADIA DE GOIAS	MR	0,4
GUAPO	BR	0,21
APARECIDA DE GOIANIA	AR	0,755
GOIANIRA	AR	0,755
CATURAI	BR	0,21
HIDROLANDIA	AR	0,755
NEROPOLIS	BR	0,21
SANTO ANTONIO DE GOIAS	AR	0,755
BONFINOPOLIS	AR	0,755
TRINDADE	AR	0,755
SENADOR CANEDO	AR	0,755
ARAGOIANIA	MR	0,4
CALDAZINHA	RM	0,1
INHUMAS	RM	0,1
BELA VISTA DE GOIAS	MR	0,4
NOVA VENEZA	MR	0,4
BRAZABRANTES	AR	0,755

Fonte: SOUZA (2016)

A probabilidade de migração entre a cidade k e j é dada pela fórmula:

$$PMigr_{kj} = IEMnorm_k * DistKMnorm_{kj}$$

Sendo $IEMnorm_k$ e $DistKMnorm_{kj}$ o IEM normalizado da cidade k e a distância normalizada entre as cidades k e j (calculada via API na plataforma Google Maps). Quando necessário, os valores mínimos (que

seriam iguais a 0 na normalização entre 0 e 1) são ajustados para o 80% do valor mínimo diferente de 0 para todas as normalizações feitas neste trabalho.

As probabilidades de migração entre quaisquer duas cidades são assim definidas:

Quadro 1 – Matriz de probabilidade migratória entre cidades da Rede Metropolitana de Goiânia no modelo

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0,00	0,01	0,01	0,06	0,05	0,09	0,09	0,06	0,10	0,01	0,06	0,02	0,05	0,09	0,06	0,04	0,04	0,05	0,04	0,08
2	0,03	0,00	0,01	0,05	0,05	0,08	0,08	0,06	0,09	0,02	0,07	0,03	0,05	0,09	0,05	0,03	0,04	0,05	0,05	0,09
3	0,02	0,01	0,00	0,05	0,05	0,08	0,08	0,07	0,09	0,02	0,06	0,04	0,03	0,09	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,09
4	0,06	0,02	0,01	0,00	0,02	0,07	0,07	0,05	0,08	0,03	0,08	0,07	0,03	0,09	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,10
5	0,07	0,02	0,02	0,03	0,00	0,05	0,07	0,05	0,06	0,03	0,09	0,07	0,04	0,10	0,02	0,04	0,04	0,05	0,06	0,10
6	0,06	0,02	0,01	0,05	0,03	0,00	0,09	0,06	0,04	0,03	0,08	0,07	0,07	0,10	0,01	0,04	0,04	0,04	0,06	0,10
7	0,06	0,02	0,02	0,05	0,04	0,10	0,00	0,03	0,10	0,03	0,06	0,07	0,05	0,10	0,06	0,04	0,03	0,06	0,05	0,04
8	0,06	0,02	0,02	0,05	0,04	0,10	0,04	0,00	0,10	0,02	0,06	0,07	0,07	0,10	0,06	0,04	0,00	0,06	0,02	0,06
9	0,06	0,02	0,02	0,05	0,03	0,04	0,10	0,07	0,00	0,03	0,09	0,08	0,07	0,07	0,02	0,03	0,04	0,02	0,06	0,10
10	0,02	0,01	0,01	0,06	0,05	0,10	0,10	0,05	0,11	0,00	0,03	0,04	0,06	0,10	0,06	0,04	0,02	0,06	0,02	0,05
11	0,04	0,02	0,01	0,06	0,05	0,10	0,07	0,05	0,11	0,01	0,00	0,06	0,07	0,11	0,06	0,04	0,03	0,06	0,03	0,02
12	0,02	0,01	0,01	0,06	0,05	0,09	0,09	0,06	0,10	0,02	0,06	0,00	0,06	0,07	0,06	0,03	0,04	0,06	0,04	0,08
13	0,04	0,01	0,01	0,02	0,03	0,09	0,06	0,06	0,10	0,03	0,08	0,06	0,00	0,09	0,06	0,04	0,04	0,05	0,06	0,10
14	0,06	0,02	0,02	0,06	0,05	0,09	0,09	0,06	0,07	0,03	0,08	0,05	0,07	0,00	0,06	0,00	0,04	0,03	0,06	0,10
15	0,06	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,10	0,07	0,03	0,03	0,09	0,07	0,07	0,10	0,00	0,04	0,04	0,03	0,06	0,10
16	0,06	0,02	0,02	0,05	0,04	0,09	0,09	0,06	0,07	0,03	0,08	0,05	0,07	0,01	0,06	0,00	0,04	0,03	0,06	0,09
17	0,05	0,02	0,02	0,06	0,05	0,10	0,06	0,01	0,10	0,02	0,05	0,06	0,08	0,10	0,06	0,04	0,00	0,06	0,02	0,05
18	0,06	0,02	0,01	0,06	0,04	0,07	0,09	0,07	0,03	0,03	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03	0,02	0,04	0,00	0,06	0,10
19	0,04	0,02	0,02	0,06	0,05	0,10	0,08	0,03	0,11	0,01	0,04	0,05	0,07	0,10	0,06	0,04	0,01	0,06	0,00	0,04
20	0,05	0,02	0,02	0,06	0,05	0,10	0,04	0,04	0,11	0,02	0,02	0,06	0,08	0,11	0,07	0,04	0,02	0,06	0,02	0,00

Cidades por numeração na tabela: 1. Abadia De Goiás, 2. Aparecida De Goiânia, 3. Aragoiania, 4. Bela Vista De Goiás, 5. Bonfinópolis, 6. Brazabrantes, 7. Caldazinha, 8. Caturai, 9. Goianapolis, 10. Goiania, 11. Goianira, 12. Guapo, 13. Hidrolândia, 14. Inhumas, 15. Nerópolis, 16. Nova Veneza, 17. Santo Antônio De Goiás, 18. Senador Canedo, 19. Terezopolis De Goiás, 20. Trindade

As cidades têm integração externa e servem como entrada de agentes imigrantes de fora da malha. Agentes externos podem carregar ou não a

doença conforme probabilidade γ . Da mesma forma, a cada período, um contingente de pessoas emigra da rede. A probabilidade de um emigrante chegar por determinada cidade ou de um imigrante sair da rede por ela é definida pela proporção do PIB entre as cidades da rede como forma de simular atratividade econômica e priorizar centros urbanos mais dinâmicos.

Tabela 6 – Probabilidade emigratória/imigratória por cidade	
Cidade	P(migração)
TEREZOPOLIS DE GOIAS	0,010
GOIANAPOLIS	0,008
GOIANIA	0,029
ABADIA DE GOIAS	0,009
GUAPO	0,003
APARECIDA DE GOIANIA	0,350
GOIANIRA	0,044
CATURAI	0,011
HIDROLANDIA	0,015
NEROPOLIS	0,015
SANTO ANTONIO DE GOIAS	0,020
BONFINOPOLIS	0,019
TRINDADE	0,089
SENADOR CANEDO	0,085
ARAGOIANIA	0,000
CALDAZINHA	0,004
INHUMAS	0,015
BELA VISTA DE GOIAS	0,021
NOVA VENEZA	0,020
BRAZABRANTES	0,021

Em cada cidade o contágio se dá conforme um modelo SIRD (suscetível, infectado, recuperado, morto), com o número de pessoas em cada “compartimento” do modelo sendo determinado ao final de cada período. A dinâmica de contágio se dá a partir do número de interações k aleatórias entre agentes em cada cidade, sendo tal número função da densidade populacional e da eventual implementação de medidas de isolamento/supressão. Cada interação tem probabilidade p de gerar uma infecção, que durará por período Td . Em cada período $t < Td$ o indivíduo infectado possui probabilidade d de morrer, que pode ser aumentada u vezes caso ele se torne um caso de UTI com probabilidade g .

Cada cidade da rede urbana tem um número basal de interações por período e uma probabilidade de contágio por interação. As interações e as probabilidades foram ajustadas a partir de repetidas

simulações até que fossem gerados resultados epidemiológicos próximos aos reais. Utilizou-se como referência para ajuste o período epidemiológico entre a primeira infecção e a primeira vacina aplicada na Região Metropolitana de Goiânia (04/01/2020 a 18/01/2021). Embora não seja possível mitigar o efeito do isolamento nos números, o período foi escolhido como forma de refletir a dinâmica de contágio sem a interferência das vacinas. Não foi considerada a prevalência de subnotificação de casos e mortes nos dados reais.

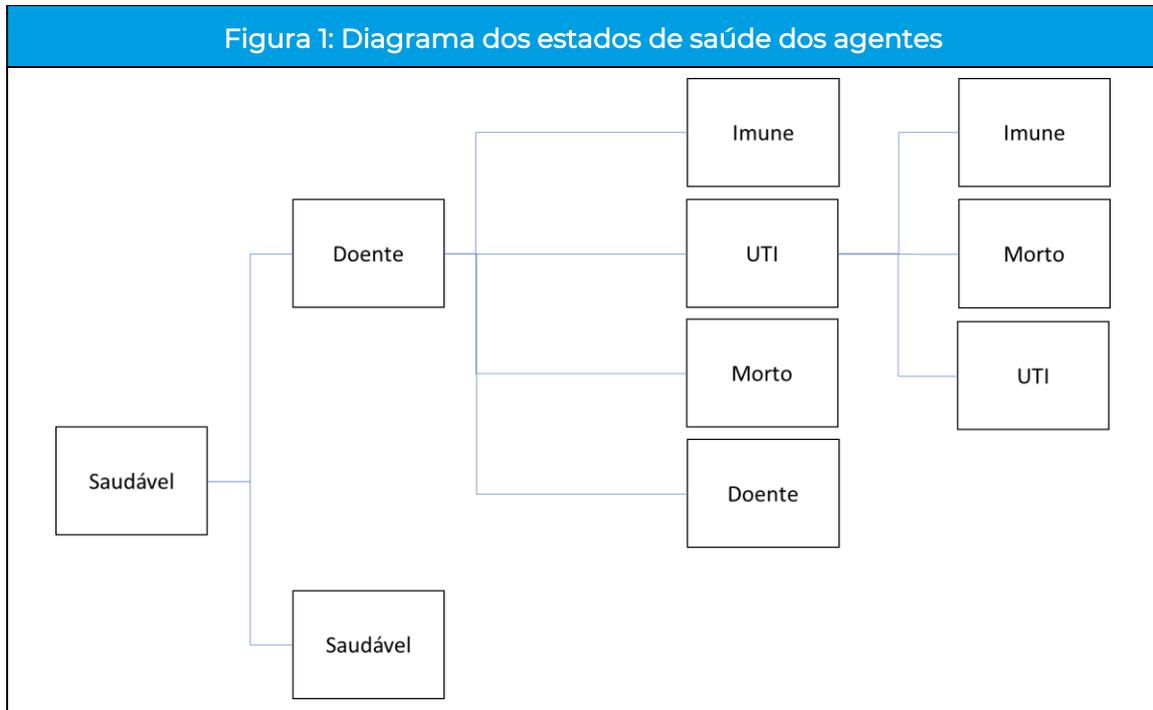
As interações por cidade seguem a tabela a seguir:

Tabela 7 – Número de interações diárias totais por cidade	
Cidade	Interações
TEREZOPOLIS DE GOIAS	1
GOIANAPOLIS	2
GOIANIA	13
ABADIA DE GOIAS	4
GUAPO	3
APARECIDA DE GOIANIA	8
GOIANIRA	5
CATURAI	2
HIDROLANDIA	5
NEROPOLIS	3
SANTO ANTONIO DE GOIAS	2
BONFINOPOLIS	2
TRINDADE	9
SENADOR CANEDO	8
ARAGOIANIA	3
CALDAZINHA	2
INHUMAS	7
BELA VISTA DE GOIAS	5
NOVA VENEZA	2
BRAZABRANTES	1

A probabilidade p de infecção por interação em todas as cidades é de 2,5%.

Cada indivíduo, conforme suas características de idade, terá probabilidade de morrer basal d diferente. Indivíduos que alcançarem vivos o período Td tornar-se-ão imunes indefinidamente. A cada período de sobrevivência, a chance de morrer de COVID diminui na proporção m . Indivíduos internados em UTI passam a não interagir. O tempo até recuperação dos indivíduos em UTI Td é multiplicado por L ,

sendo L um fator de complicação para simular COVID longa. Os estados são assim encadeados:



Assume-se que todos os indivíduos infectados são capazes de transmitir a doença pelo período de 14 dias (WEI *et al.*, 2020; HE *et al.*, 2020). Uma vez infectado, o indivíduo pode ser hospitalizado, ir para a UTI ou morrer com determinada probabilidade dependente da sua faixa etária (VERITY *et al.*, 2020, MMWR, 2020; DONG *et al.*, 2020):

Tabela 8: Probabilidades de hospitalização, internação em UTI e morte por faixa etária

Idade (anos)	P(Hospitalização)	P(UTI)	P(Morte)
0-9	0	0	0
10-19	0	0,014	0,001
20-29	0,01	0,028	0,026
30-39	0,034	0,048	0,149
40-49	0,042	0,068	0,177
50-59	0,082	0,080	0,3
60-69	0,118	0,113	0,485
70-79	0,166	0,171	0,440
>80	0,184	0,217	0,564

Fonte: Dong et al (2020)

Ao final de todas essas interações, são computados indicadores econômicos como preços, produto e consumo para comparação entre

estratégias de combate sanitário. Os fluxos migratórios e as interações entre agentes são aleatórios e controlados por diferentes *seeds*.

Como forma de conter a pandemia, autoridades locais e regionais podem decretar medidas restritivas. Embora existam diversos tipos de medidas possíveis, como restrições regionais de contato, que reduzem o número de interações k_i em um grupo de cidades simultaneamente; restrições regionais de transporte, que impedem a migração bilateral entre certas cidades da malha urbana simultaneamente e restrição de transporte extrarregional, que fecha as conexões da região com outras regiões, zerando o influxo de imigrantes; por questão de foco e objetividade, decidiu-se estudar neste artigo apenas restrições locais de contato, que reduzem o número de interações k na cidade em que foram implementadas.

As medidas restritivas são acionadas de forma dinâmica. As medidas são implementadas caso haja crescimento maior que 15% nas médias móveis dos últimos 15 dias nas séries de casos e mortes e mantidas até que o crescimento de ambas fique abaixo desse percentual. As medidas têm efeito imediato e reduzem o número de interações em determinada porcentagem.

Tendo em vista a natureza estocástica de boa parte do modelo, foram realizadas iterações em três tipos de simulação (cenário-base, cenário com isolamento, cenário sem isolamento). Inicialmente, foi simulado o cenário base, sem epidemia, de forma a estabelecer referências para analisar os cenários com e sem medidas de combate ao contágio.

Tendo em vista o Cenário-Base, simulou-se cenários epidêmicos com e sem isolamento social. O isolamento nestas simulações traduziu-se na redução de contatos em 25%, 40% ou 55% por período em cada cidade da rede quando as médias móveis de 15 dias das taxas de contágio e morte crescessem acima de 15% na comparação com as observadas em $t-15$. Cada cidade decretou medidas por conta própria, de forma independente e isolada.

O número de agentes por cidade é igual à quantidade real de pessoas por cidade dividida por 30. Tal ajuste é feito neste ponto do trabalho tendo em vista a capacidade de processamento do modelo. Observou-se, a partir de tentativa e erro, que esta proporção preserva

as razões de contágio, migração e atividade econômica ao mesmo tempo em que mantém o modelo processável em tempo hábil. Apesar de adotar-se proporção reduzida de agentes em comparação à realidade nesta etapa do modelo, é importante destacar que nos testes do modelo epidemiológico puro, sem atividade econômica, foram simulados os cerca de três milhões de agentes da Região Metropolitana de Goiânia.

Para este cenário-base não há contágio e, por consequência, não há medidas de isolamento, contração de consumo/produção por medo dos agentes e afastamento da mão-de-obra por infecção pelo vírus. Com isso, tem-se uma economia em pleno emprego, com agentes ofertando 100% das suas horas diárias de trabalho. Este cenário funcionou como contrafactual para os cenários de contágio.

Foram realizadas 30 iterações dos cenários-base para um período de 365 dias a partir da primeira infecção. Assume-se, para esta simulação inicial, que ρ das interações diárias totais sem isolamento são interações econômicas ($0,5 \leq \rho \leq 0,9$). Tendo em vista o custo de realizar simulações suficientes para construir intervalos de confiança para iterações sob cada combinação de ρ e σ para cada nível de isolamento, optou-se pela simulação de um único ρ combinado com os valores possíveis de σ para três níveis de isolamento diferentes. Assim, o valor de ρ foi definido como $\rho = 0,5$, (logo, $0,6 \leq \sigma \leq 0,9$), a partir da perspectiva de que as interações econômicas diárias sem isolamento provavelmente ocupam proporção moderada das interações totais de cada indivíduo. Sob esta ótica, considera-se 8 horas de trabalho diárias (33%) somadas a algumas horas mais de atividades econômicas não necessariamente relacionadas ao trabalho (alimentação, entretenimento, aquisição de produtos diversos etc.). Com isto, o valor de 0,5 para atividades econômicas sem isolamento parece um ponto de partida consistente.

São testados diferentes níveis de isolamento, em linha com o observado na RMG a partir dos dados de isolamento medidos pelo IBGE para 2020 e com os cenários de isolamento utilizados pela Universidade Federal de Goiás (nota técnica nº 2 da série *Modelagem da expansão espaço temporal da COVID-19 em Goiás*). O comparativo das principais variáveis pode ser visto a seguir.



4

4

ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 RESULTADOS EPIDEMIOLÓGICOS

Após 50 simulações, foram obtidos os seguintes resultados epidemiológicos, comparados abaixo com os dados reais, reportados pela Secretaria de Saúde do Estado de Goiás:

Tabela 9: Comparativo entre o resultado epidemiológico real e o simulado

Cidade	Casos*	Casos Modelo	Óbitos*	Letalidade	Letalidade Modelo
ABADIA DE GOIAS	788	1674	10	1,27%	1,19%
APARECIDA DE GOIANIA	41509	63653	609	1,47%	1,83%
ARAGOIANIA	459	1053	5	1,09%	0,76%
BELA VISTA DE GOIAS	1259	2390	22	1,75%	0,75%
BONFINOPOLIS	392	1672	11	2,81%	0,30%
BRAZABRANTES	187	1896	2	1,07%	0,53%
CALDAZINHA	122	1595	2	1,64%	0,56%
CATURAI	129	1872	4	3,10%	0,32%
GOIANAPOLIS	528	1400	14	2,65%	0,29%
GOIANIA	86804	84339	2164	2,49%	2,15%
GOIANIRA	1766	3298	36	2,04%	0,79%
GUAPO	649	1352	8	1,23%	0,89%
HIDROLANDIA	1190	1954	26	2,18%	0,72%
INHUMAS	3446	5221	72	2,09%	1,40%
NEROPOLIS	778	1974	36	4,63%	0,61%
NOVA VENEZA	440	1881	11	2,50%	0,69%
SANTO ANTONIO DE GOIAS	472	1837	14	2,97%	0,87%
SENADOR CANEDO	7138	12570	126	1,77%	1,24%
TEREZOPOLIS DE GOIAS	485	1472	6	1,24%	0,54%
TRINDADE	4308	14780	181	4,20%	1,17%

Fonte: Boletim epidemiológico da Secretaria de Saúde de Goiás

4.1.1 CENÁRIO BASE ($\rho = 0,5$)

Tabela 10: Resultados das simulações para o cenário base

Variável	Cenário-Base	IC (95%)
Consumo Imediato (soma) em bilhões	9,18	[9,15; 9,2]
Consumo Imediato + Poupança (soma) em bilhões	21,46	[21,4; 21,5]
Preços (média)	10,70	[10,67; 10,71]

Horas totais (soma) em milhões	255,77	[255,22; 256,31]
Horas efetivas (soma) em milhões	255,77	[255,22; 256,31]
% horas	100,00%	-
Mortalidade (soma)	0	-
Casos (soma)	0	-
Mortes (soma)	0	-

Simulações para 365 dias desde o início da infecção, 30 iterações

O consumo imediato representa o somatório diário de todo C_{ajt}^* em todas as cidades da rede. As reservas equivalem ao somatório de todo o consumo adiado por dia em todas as cidades. Os preços são a média dos preços cobrados pelo consumo imediato considerando todas as cidades em todos os dias. As horas totais são o total de horas disponíveis para trabalho em toda a rede ao longo do período estudado, assumindo que todos os trabalhadores ofertariam 8 horas diárias. As horas efetivas de trabalho são o somatório das horas de fato ofertadas (levando em consideração o fator medo e agentes doentes ou mortos). A mortalidade representa a porcentagem de mortos entre os infectados. A variável casos diz respeito ao número absoluto de casos em toda a rede urbana. Mortes representa o número absoluto de mortos em toda a rede. Todas as variáveis foram construídas a partir dos dados obtidos nos 365 dias simulados e tem intervalo de confiança calculado a 95%.

Nas seções a seguir serão analisados os resultados por grau de isolamento e por σ . Inicialmente será feita uma análise geral dos resultados para todos os níveis de σ sob níveis de isolamento distintos. Desta análise, que buscará explicações internas ao modelo para o movimento das variáveis estudadas, será feito um filtro em busca de eventuais inconsistências teóricas observadas pela interação dos parâmetros. Feita esta seleção, proceder-se-á à análise mais apurada daqueles cenários economicamente consistentes, traçando os efeitos específicos das políticas de isolamento.

4.2 CENÁRIO VERMELHO: 25% DE ISOLAMENTO ($\rho = 0.5$)

Quadro 2: Resultados das simulações para o cenário vermelho			
<i>Isolamento=25% Sigma=0,6 Rho=0,5</i>			
	% do cenário base		Com Isolamento/Sem Isolamento
	Com Isolamento	Sem Isolamento	

Consumo Imediato (soma, bi)	93.96%	96.81%	97.06%
Consumo + Poupança (soma, bi)	95.31%	94.20%	101.18%
Preços (média)	115.94%	131.02%	88.49%
% horas trabalhadas	99.37%	98.70%	100.68%
Mortalidade (soma)	-	-	93,23%
Casos (soma)	-	-	80,05%
Mortes (soma)	-	-	74,64%

	<i>Isolamento=25% Sigma=0,7 Rho=0,5</i>		
	% do cenário base		Com Isolamento/Sem Isolamento
	Com Isolamento	Sem Isolamento	
Consumo Imediato (soma, bi)	99.64%	95.10%	104.78%
Consumo + Poupança (soma, bi)	95.13%	94.20%	100.99%
Preços (média)	113.21%	131.02%	86.40%
% horas trabalhadas	99.34%	98.70%	100.65%
Mortalidade (soma)	-	-	96.45%
Casos (soma)	-	-	76.43%
Mortes (soma)	-	-	70.20%

	<i>Isolamento=25% Sigma=0,8 Rho=0,5</i>		
	% do cenário base		Com Isolamento/Sem Isolamento
	Com Isolamento	Sem Isolamento	
Consumo Imediato (soma, bi)	102.86%	97.05%	105.98%
Consumo + Poupança (soma, bi)	95.28%	94.03%	101.33%
Preços (média)	98.80%	131.02%	75.41%
% horas trabalhadas	99.34%	98.70%	100.65%
Mortalidade (soma)	-	-	98.60%
Casos (soma)	-	-	78.02%
Mortes (soma)	-	-	76.93%

	<i>Isolamento=25% Sigma=0,9 Rho=0,5</i>		
	% do cenário base		Com Isolamento/Sem Isolamento
	Com Isolamento	Sem Isolamento	
Consumo Imediato (soma, bi)	110.63%	94.91%	116.56%

Consumo + Poupança (soma, bi)	95.34%	94.13%	101.28%
Preços (média)	98.95%	131.02%	75.52%
% horas trabalhadas	99.36%	98.70%	100.67%
Mortalidade (soma)	-	-	99.74%
Casos (soma)	-	-	79.18%
Mortes (soma)	-	-	78.98%

Com 25% de isolamento, taxa considerada como o pior cenário das simulações feitas pela Universidade Federal de Goiás, a diferença entre o cenário com e sem isolamento é relativamente pequena quando comparada aos resultados das simulações com 40% e 60% de isolamento. Nesse sentido, com $\sigma = 0,6$, o consumo imediato é -6,04 p.p. em comparação com o cenário base e -0,76 p.p em relação ao cenário sem medidas restritivas, contra +10,63 p.p. e +16,86 p.p., respectivamente, com $\sigma = 0,9$. O resultado para o cenário com isolamento é pior quanto menor o parâmetro σ , com cada 0,1 de σ representando aproximadamente 0,57 bilhão em produção nos 365 dias simulados. O consumo no cenário com medidas restritivas é mais baixo do que no cenário sem isolamento apenas no caso em que $\sigma = 0,6$,

Importante notar que a depender do valor de σ e das condições de simulação, o número de interações econômicas sob isolamento seria mais alto do que o número de interações econômicas sem isolamento, o que levaria a consumo mais alto mesmo com medidas restritivas. Este resultado seria economicamente coerente no cenário específico de corrida ao consumo temporária, motivada por medo de fechamentos ou de desabastecimento. Seria ainda possível analisar tal resultado a partir da ótica de transferências de renda que elevem a renda média dos indivíduos acima daquela recebida durante períodos normais. Tendo em vista que não foram simuladas transferências diretas nesse modelo, assumimos que ao menos parte dos cenários de σ em que o consumo sob restrições é maior do que no cenário base pode ser explicada por corridas de consumo. Ainda assim, esta situação sugere uma inconsistência econômica para o modelo nestas condições paramétricas. Observado tal ocorrido, este e outros cenários que apresentarem esta desproporção inconsistente de produto serão desconsiderados nas análises posteriores.

Os preços são mais baixos em todos os cenários com restrição.

Nota-se que as horas efetivas de trabalho ofertadas são absoluta e proporcionalmente mais altas com medidas restritivas do que sem medidas restritivas. Tal efeito tem provável relação com o nível de medo dos agentes, que reduz a disposição de ofertar horas de trabalho a cada dia e tende a ser maior no cenário sem restrições (e maior contágio). Nesse sentido, embora mais pessoas estejam dispostas a ofertar diariamente mais horas de trabalho por sentirem menos medo de contágio, as restrições duras de interação impostas pelo governo em reação à epidemia inviabilizam a realização plena do produto equivalente a tais horas, o que reduz a produção no período estudado.

As reservas, para todos os σ , são mais altas no cenário restritivo do que no cenário sem medidas implementadas. Tal comportamento pode ter relação com o impacto negativo das medidas restritivas sobre a produção, o que eleva o preço relativo do consumo presente frente ao consumo futuro. Este efeito negativo parece mais do que compensar o impacto positivo sobre o consumo presente causado pela redução nos níveis de medo.

Tendo em vista que o produto comparativo entre os cenários não é significativamente diferente e que o consumo no cenário sem restrições é especialmente reduzido pelo maior nível de contágio, é esperado que os níveis de preço sob restrições sejam maiores, mesmo que em proporção relativamente pequena, como mostrado na tabela.

Do ponto de vista sanitário, o cenário sem restrições mostra-se significativamente pior para todos os σ , com aumento no número de casos e de mortes próximo, em média, a 30 p.p. quando comparado ao cenário no qual medidas de isolamento são implementadas.

4.3 CENÁRIO VERDE: 40% DE ISOLAMENTO ($\rho = 0.5$)

Quadro 3: Resultados das simulações para o cenário verde		
	<i>Isolamento=40% Sigma=0,6 Rho=0,5</i>	
	% do cenário base	
	Com Isolamento	Sem Isolamento
	Com Isolamento/Sem	

			Isolament o
Consumo Imediato (soma, bi)	88.95%	96.81%	91.88%
Consumo + Poupança (soma, bi)	96.08%	94.20%	102.00%
Preços (média)	86.34%	95.65%	90.26%
% horas trabalhadas	99.03%	98.70%	100.34%
Mortalidade (soma)	-	-	94,13%
Casos (soma)	-	-	63,52%
Mortes (soma)	-	-	59,80%

	<i>Isolamento=40% Sigma=0,7 Rho=0,5</i>		
	% do cenário base		Com Isolament o/Sem Isolament o
	Com Isolamento	Sem Isolamento	
Consumo Imediato (soma, bi)	94.42%	96.81%	97.53%
Consumo + Poupança (soma, bi)	96.13%	94.20%	102.05%
Preços (média)	84.50%	95.65%	88.35%
% horas trabalhadas	99.04%	98.70%	100.34%
Mortalidade (soma)	-	-	100,91%
Casos (soma)	-	-	60,20%
Mortes (soma)	-	-	57,85%

	<i>Isolamento=40% Sigma=0,8 Rho=0,5</i>		
	% do cenário base		Com Isolament o/Sem Isolament o
	Com Isolamento	Sem Isolamento	
Consumo Imediato (soma, bi)	99.17%	96.81%	102.44%
Consumo + Poupança (soma, bi)	96.51%	94.20%	102.45%
Preços (média)	84.81%	95.65%	88.67%
% horas trabalhadas	99.08%	98.70%	100.38%
Mortalidade (soma)	-	-	96,50%
Casos (soma)	-	-	59,68%
Mortes (soma)	-	-	57,59%

	<i>Isolamento=40% Sigma=0,9 Rho=0,5</i>		
	% do cenário base		Com Isolament o/Sem Isolament o
	Com Isolamento	Sem Isolamento	
Consumo Imediato (soma, bi)	106.91%	96.81%	110.43%
Consumo + Poupança (soma, bi)	96.42%	94.20%	102.36%
Preços (média)	84.84%	95.65%	88.70%
% horas trabalhadas	99.07%	98.70%	100.38%

Mortalidade (soma)	-	-	93,88%
Casos (soma)	-	-	61,41%
Mortes (soma)	-	-	57,65%

Com 40% de isolamento, o impacto das medidas restritivas cresce para todos os níveis de σ . A perda em termos de produto é pior quanto menor o parâmetro σ , com cada 0,1 de σ representando aproximadamente 0,57 bilhão em produção nos 365 dias simulados. Nesse sentido, com $\sigma = 0,6$, o consumo imediato é -13,99 p.p. em comparação com o cenário base e -9,16 p.p em relação ao cenário sem medidas restritivas, contra +4,71 p.p. e +10,61 p.p., respectivamente, com $\sigma = 0,9$.

Os preços são mais baixos em todos os cenários com restrição, independentemente de σ . Este resultado pode refletir a abdicação de consumo presente causada pelas restrições de contato impostas pelo governo. Esta diferença não parece se justificar pelo fator medo, que reduz o consumo presente e favorece a poupança dos agentes, uma vez que tal fator é mais alto no cenário sem restrições.

Nota-se que as horas efetivas de trabalho ofertadas são absoluta e proporcionalmente mais altas com medidas restritivas do que sem medidas restritivas. Tal efeito tem provável relação com o nível de medo dos agentes, que reduz a disposição de ofertar horas de trabalho a cada dia e tende a ser maior no cenário sem restrições (e maior contágio). Nesse sentido, embora mais pessoas estejam dispostas a ofertar diariamente mais horas de trabalho por sentirem menos medo de contágio, as restrições duras de interação impostas pelo governo em reação à epidemia inviabilizam a realização plena do produto equivalente a tais horas, o que reduz a produção no período estudado.

A poupança sob restrições, para todos os σ , é mais alta no cenário restritivo do que no cenário sem medidas implementadas. Apesar do maior nível de isolamento reduzir o volume de contágios diários e, por consequência, o fator medo dos agentes, devendo, portanto, penalizar menos o consumo imediato, a contração do produto causada pelo próprio isolamento pode acabar por forçar o adiamento do consumo.

Do ponto de vista sanitário, o cenário sem restrições mostra-se significativamente pior para todos os σ , com aumento no número de casos e de mortes próximo, em média, a 60 p.p. quando comparado ao cenário no qual medidas de isolamento são implementadas.

O produto para $\sigma = 0,9$ é maior no cenário com isolamento do que no cenário base, o que pode indicar um resultado inconsistente, tendo em vista que para que tal comparação fosse verdadeira, o número de interações econômicas pós- isolamento deveria ser maior que o aquele no cenário sem epidemia. Para todos os demais níveis de σ , a comparação é consistente.

4.4 CENÁRIO AZUL: 55% DE ISOLAMENTO ($\rho = 0,5$)

Quadro 4: Resultados das simulações para o cenário verde			
<i>Isolamento=55% Sigma=0,6 Rho=0,5</i>			
	% do cenário base		Com Isolamento/Sem Isolamento
	Com Isolamento	Sem Isolamento	
Consumo Imediato (soma, bi)	80.89%	96.81%	83.55%
Consumo + Poupança (soma, bi)	97.50%	94.20%	103.51%
Preços (média)	135.93%	131.02%	103.75%
% horas trabalhadas	99.37%	98.70%	100.68%
Mortalidade (soma)	-	-	101.96%
Casos (soma)	-	-	38.57%
Mortes (soma)	-	-	39.33%

<i>Isolamento=55% Sigma=0,7 Rho=0,5</i>			
	% do cenário base		Com Isolamento/Sem Isolamento
	Com Isolamento	Sem Isolamento	
Consumo Imediato (soma, bi)	85.24%	96.81%	88.05%
Consumo + Poupança (soma, bi)	97.39%	94.20%	103.39%
Preços (média)	135.56%	131.02%	103.46%
% horas trabalhadas	99.34%	98.70%	100.65%
Mortalidade (soma)	-	-	96.53%
Casos (soma)	-	-	41.08%
Mortes (soma)	-	-	39.65%

<i>Isolamento=55% Sigma=0,8 Rho=0,5</i>			
	% do cenário base		Com Isolamento/Sem Isolamento
	Com Isolamento	Sem Isolamento	
Consumo Imediato (soma, bi)	90.73%	96.81%	93.72%
Consumo + Poupança (soma, bi)	97.41%	94.20%	103.41%
Preços (média)	135.30%	131.02%	103.26%
% horas trabalhadas	99.34%	98.70%	100.65%
Mortalidade (soma)	-	-	100.09%

Casos (soma)	-	-	41.96%
Mortes (soma)	-	-	42.00%

	<i>Isolamento=55% Sigma=0,9 Rho=0,5</i>		
	% do cenário base		Com Isolamento/Sem Isolamento
	Com Isolamento	Sem Isolamento	
Consumo Imediato (soma, bi)	92.98%	96.81%	96.04%
Consumo + Poupança (soma, bi)	97.48%	94.20%	103.49%
Preços (média)	135.50%	131.02%	103.42%
% horas trabalhadas	99.36%	98.70%	100.68%
Mortalidade (soma)	-	-	96.79%
Casos (soma)	-	-	40.40%
Mortes (soma)	-	-	39.10%

Com 55% de isolamento, o impacto das medidas restritivas cresce para todos os níveis de σ . A perda em termos de produto é pior quanto menor o parâmetro σ , com cada 0,1 adicional de σ representando aproximadamente 0.36 bilhão em produção nos 365 dias simulados. Nesse sentido, com $\sigma = 0,6$, a queda do consumo imediato é de -14.76 p.p. em comparação com o cenário base e -10,36 p.p. em relação ao cenário sem medidas restritivas, contra -7,02 p.p. e -1,88 p.p., respectivamente, com $\sigma = 0,9$.

Diferentemente do observado nas simulações com 40% de isolamento, o nível de preços é mais alto sob isolamento de 55% para todos os σ em comparação com o cenário sem medidas restritivas. Não há efeito significativo do nível de σ sobre as diferenças de preço. Tal resultado pode ser explicado por contrações maiores de produto causadas pela redução de contatos por período sem reduções equivalentes em renda e em intenção de consumo. Nesse sentido, se por um lado as restrições de contato reduzem o número de interações econômicas e impactam o produto, por outro, a diminuição do contágio reduz o medo dos agentes, que, por consequência, estarão mais dispostos ao consumo e à oferta de horas de trabalho.

Novamente, pelos mesmos fatores elencados na seção anterior, as horas efetivas de trabalho ofertadas são absoluta e proporcionalmente mais altas com medidas restritivas do que sem medidas restritivas.

As reservas, para todos os σ , são mais altas no cenário restritivo do que no cenário sem medidas implementadas. Tal comportamento

pode ter relação com o impacto negativo das medidas restritivas sobre a produção, o que eleva o preço relativo do consumo presente frente ao consumo futuro. Este efeito negativo parece mais do que compensar o impacto positivo sobre o consumo presente causado pela redução nos níveis de medo.

Do ponto de vista sanitário, o cenário sem restrições mostra-se significativamente pior para todos os σ , com aumento no número de casos e de mortes próximo, em média, a 60 p.p. quando comparado ao cenário no qual medidas de isolamento são implementadas.

Diferentemente dos resultados obtidos para 40% de isolamento, o consumo sob medidas restritivas é sempre menor do que no cenário sem medidas e do que no cenário base, mesmo com $\sigma = 0,9$.

4.5 COMPARATIVO DE RESULTADOS POR NÍVEIS DE ISOLAMENTO PARA $\sigma = 0,6$ e $\sigma = 0,7$

Tendo em vista a ocorrência de resultados potencialmente espúrios quando considerados valores elevados de σ em algumas das simulações nas quais o número de interações econômicas e, conseqüentemente, de produto pós-medidas restritivas foram maiores que no cenário-base, esta seção analisará mais propriamente o modelo para os níveis de σ nos quais foram obtidos resultados consistentes para todos os graus de isolamento ($\sigma = 0,6$ e $\sigma = 0,7$).

4.5.1 RESULTADOS PARA 0,6 POR GRAU DE ISOLAMENTO

Quadro 5: Resultados das simulações para $\sigma = 0,6$										
	Cenário Base	IC (95%)	Sem Isolamento	IC (95%)	Com Isolamento (25%)	IC (95%)	Com Isolamento (40%)	IC (95%)	Com Isolamento (55%)	IC (95%)
Consumo Imediato (soma, bi)	9.18	[9.15; 9.2]	8.89	[8.67; 8.70]	8.62	[8.59; 8.65]	8.16	[7.67; 8.65]	7.42	[7.35; 7.49]
Consumo + Poupança (soma, bi)	21.46	[21.4; 21.5]	20.21	[20.12; 20.3]	20.45	[20.35; 20.55]	20.62	[20.54; 20.68]	20.92	[20.88; 20.96]
Preços (média)	10.70	[10.67; 10.71]	14.01	[13.99; 14.03]	12.40	[12.34; 12.45]	12.65	[12.57; 12.72]	14.54	[14.51; 14.56]
Horas totais (soma, mi)	255.77	[255.22; 256.31]	255.38	[254.8; 255.95]	255.58	[254.9; 256.25]	255.87	[255.01; 256.71]	255.58	[254.9; 256.25]
Horas efetivas (soma, mi)	255.77	[255.22; 256.31]	252.05	[251.48; 252.61]	253.96	[253.31; 254.6]	253.39	[252.59; 254.19]	253.96	[253.31; 254.6]
% horas	100.00%	-	98.70%	-	99.37%	-	99.03%	-	99.37%	-
Mortalidade (soma)	0	-	11.23%	[10.65%; 11.81%]	10.47%	[9.97%; 10.97%]	10.57%	[9.84%; 11.29%]	11.45%	[10.91%; 11.99%]
Casos (soma)	0	-	50167	[49925; 50409]	40161	[39781; 40541]	31868	[30456; 33279]	19351	[18585; 20117]
Mortes (soma)	0	-	5634	[5368; 5953]	4205	[4068; 4476]	3369	[3221; 3696]	2216	[2194; 2412]

Quadro 6: Resultados comparativos das simulações para $\sigma = 0,6$ (%)

	Isolamento=25%		Isolamento=40%		Isolamento=55%	
	Com Isolamento/Cenário Base	Com Isolamento/Sem Isolamento	Com Isolamento/Cenário Base	Com Isolamento/Sem Isolamento	Com Isolamento/Cenário Base	Com Isolamento/Sem Isolamento
Consumo Imediato (soma, bi)	93.96%	97.06%	88.95%	91.88%	80.89%	83.55%
Consumo + Poupança (soma, bi)	95.31%	101.18%	96.08%	102.00%	97.50%	103.51%
Preços (média)	115.94%	88.49%	86.34%	90.26%	135.93%	103.75%
% horas trabalhadas	99.37%	100.68%	99.03%	100.34%	99.37%	100.68%
Casos (soma)	-	93.23%	-	0.00%	-	101.96%
Mortes (soma)	-	80.05%	-	0.00%	-	38.57%

Como esperado, maiores níveis de isolamento para um mesmo σ estão associados a maiores quedas de produto na comparação com o cenário-base e com o cenário sem isolamento. Cada ponto percentual de isolamento adicional representa uma queda de, em média, 0,41%. A taxa de decréscimo é não linear com o nível de isolamento, de -0,03% por ponto percentual entre 0% e 25% de isolamento para -0,56% por ponto percentual entre 40% e 55% e -0,56% por ponto percentual de 40% a 55%. A média de impacto sobre o produto é de -0,33% por ponto percentual de isolamento.

Quadro 7: Impacto dos níveis de isolamento em cada variável por ponto percentual de isolamento para $\sigma = 0,6$ (%)

	0% a 25%	25% a 40%	40% a 55%
Consumo Imediato (soma, bi)	-0.12	-0.36	-0.60
Consumo + Poupança (soma, bi)	0.05	0.05	0.10
Preços (média)	-0.46	0.13	1.00
Horas totais (soma, mi)	0.00	0.01	-0.01
Horas efetivas (soma, mi)	0.03	-0.01	0.01
% horas	0.03	-0.02	0.02
Mortalidade (soma)	-0.27	0.06	0.56
Casos (soma)	-0.80	-1.38	-2.62

A renda total, consumo + poupança, cresce conforme o nível de isolamento aumenta. Este resultado tem provavelmente relação com o aumento da preferência dos agentes por poupar em momentos de desconfiança sanitária e econômica causada pelo medo do contágio, fazendo com que o consumo seja retraído e convertido em poupança.

Os diferentes níveis de isolamento geraram comportamentos distintos sobre os preços, independentemente do nível de contração do consumo. A diferença está não só na escala das mudanças, mas

também no seu sinal. Para níveis baixos de isolamento o efeito sobre preços é negativo em -0,42% por ponto percentual de isolamento. Para níveis de isolamento entre 25% e 55% os preços médios sobem 0,10% por ponto percentual. A 55% de isolamento, os preços médios sobem 1,04%. A queda de preços a 25% de isolamento tem provável relação com reduções de produto pelo alto nível de contágio, que eleva a percepção de medo dos agentes e retrai consumo, embora não haja contração relevante da produção em si como fruto do isolamento. À medida que o nível de isolamento cresce, as possibilidades de consumo diminuem pela limitação de interações econômicas, mas a produção é menos afetada pelo fator medo e pela retirada de mão de obra infectada.

As horas de trabalho totais e efetivas, considerando a entrada e a saída probabilística de agentes na rede urbana, é mantida praticamente estável entre os cenários. A proporção de horas trabalhadas por horas efetivas é, para todos os níveis de isolamento, maior que aquela observada nos cenários sem restrições sanitárias. Isto indica que o efeito do contágio sem restrições, assumindo agentes reativos que adaptam sua oferta de trabalho, é considerável sob estes parâmetros, embora, sob $\sigma = 0,6$, o produto sem medidas restritivas seja maior do que o sob restrições em todos os níveis de isolamento.

As maiores diferenças entre os cenários estão, como esperado, nas variáveis sanitárias. O número de casos caiu 0,8% a cada 1 ponto percentual de isolamento entre os níveis de isolamento 0% e 25%, 1,38% por p.p entre 25% e 40% e 2,62% por p.p entre 40% e 55%. Da mesma forma, houve redução de 1,01% no número de mortes por ponto percentual de isolamento para os níveis de isolamento entre 0% e 25%, 1,33% por ponto percentual de isolamento entre 25% a 40% e 2,28% por ponto de isolamento entre 40% e 55%. A média de redução de casos e mortes é, respectivamente, de -1,60% e -1,54% por ponto percentual de isolamento.

Mostra-se aqui a existência de uma dicotomia clara entre determinadas variáveis econômicas e sanitárias. Há, notadamente, uma relação inversamente proporcional entre consumo imediato, casos e mortes a partir dos níveis de isolamento social. Em termos relativos, na comparação entre o cenário sem restrições com aquele de 55% de isolamento, tem-se que cada caso e cada morte a menos

representaram, respectivamente, -41.083 e -37.039 unidades de produto.

4.5.2 RESULTADOS PARA $\sigma = 0,7$ POR GRAU DE ISOLAMENTO

Quadro 8: Resultados das simulações para $\sigma = 0,7$

	Cenário Base	IC (95%)	Sem Isolamento	IC (95%)	Com Isolamento (25%)	IC (95%)	Com Isolamento (40%)	IC (95%)	Com Isolamento (55%)	IC (95%)
Consumo Imediato (soma, bi)	9.18	[9.15; 9.2]	8.89	[8.67; 8.70]	9.15	[9.11; 9.17]	8.67	[8.64; 8.69]	7.82	[7.77; 7.87]
Consumo + Poupança (soma, bi)	21.46	[21.4; 21.5]	20.21	[20.12; 20.3]	20.41	[20.36; 20.46]	20.63	[20.57; 20.68]	20.90	[20.82; 20.97]
Preços (média)	10.70	[10.67; 10.71]	14.01	[13.99; 14.03]	12.11	[12.03; 12.18]	12.38	[12.32; 12.43]	14.50	[14.46; 14.53]
Horas totais (soma, mi)	255.77	[255.22; 256.31]	255.38	[254.8; 255.95]	255.67	[254.99; 256.35]	255.60	[255.01; 256.17]	255.67	[254.99; 256.35]
Horas efetivas (soma, mi)	255.77	[255.22; 256.31]	252.05	[251.48; 252.61]	253.99	[253.26; 254.7]	253.14	[252.52; 253.75]	253.99	[253.26; 254.7]
% horas	100.00%	-	98.70%	-	99.34%	-	99.04%	-	99.34%	-
Mortalidade (soma)	0	-	11.23%	[10.65%; 11.81%]	10.61%	[10.26%; 10.97%]	11.10%	[10.62%; 11.57%]	10.84%	[9.87%; 11.81%]
Casos (soma)	0	-	50167	[49925; 50409]	40313	[39815; 40811]	31753	[30763; 32743]	20609	[19199; 22020]
Mortes (soma)	0	-	5634	[5368; 5953]	4277	[4187; 4476]	3525	[3477; 3788]	2234	[2173; 2600]

Quadro 9: Resultados comparativos das simulações para $\sigma = 0,7$ (%)

	Isolamento=25%		Isolamento=40%		Isolamento=55%	
	Com Isolamento/Cenário Base	Com Isolamento/Sem Isolamento	Com Isolamento/Cenário Base	Com Isolamento/Sem Isolamento	Com Isolamento/Cenário Base	Com Isolamento/Sem Isolamento
Consumo Imediato (soma, bi)	99.64%	104.78%	94.42%	97.53%	85.24%	88.05%
Consumo + Poupança (soma, bi)	95.13%	100.99%	96.13%	102.05%	97.39%	103.39%
Preços (média)	113.21%	86.40%	84.50%	88.35%	135.56%	103.46%
% horas trabalhadas	99.34%	100.65%	99.04%	100.34%	99.34%	100.65%
Casos (soma)	-	96.45%	-	0.00%	-	96.53%
Mortes (soma)	-	76.43%	-	0.00%	-	41.08%

Como esperado, maiores níveis de isolamento para um mesmo σ estão associados a maiores quedas de produto na comparação com o cenário base e com o cenário sem isolamento. Cada ponto percentual de isolamento adicional representa uma queda de, em média, 0,27%. A taxa de variação é não linear em relação ao nível de isolamento, sendo de +0,19% por ponto percentual entre 0% e 25% de isolamento, -0,35% por ponto percentual entre 40% e 55% e -0,65% por ponto percentual de 40% a 55%.

Há neste resultado um efeito notável. A adoção de níveis de isolamento até 25% faz com que o produto seja maior do que no cenário sem isolamento. Este resultado é distinto daquele observado sob $\sigma = 0,6$, no qual o produto era menor sob todos os níveis de isolamento. Com

$\sigma = 0,7$ e $p = 0,5$, ou seja, assumindo que 50% das interações totais pré-isolamento e 70% das interações totais pós-isolamento são econômicas, tem-se que o efeito negativo do medo e do contágio no cenário sem isolamento mais do que compensa as perdas causadas pela implementação de níveis baixos de isolamento. Assim, verifica-se que há cenários nos quais o efeito “confiança” que medidas restritivas trazem, além do próprio efeito sanitário de evitar contágios, mortes e outros impactos sobre a mão de obra, pode fazer com que o resultado econômico em termos de produto seja maior sob isolamento do que aquele observado em cenários epidêmicos sem restrições. Este efeito parece ter um determinado limite conforme o nível de isolamento cresce. A partir de determinado ponto, o aumento dos níveis de isolamento, com a conseqüente redução mais relevante de interações econômicas, passa a gerar efeitos líquidos negativos mesmo considerando os efeitos psicológicos e econômicos positivos dos isolamentos sobre o produto. Parece haver, portanto, algum ponto de exaustão dos efeitos positivos da contenção do contágio sobre o comportamento dinâmico dos agentes.

A média de impacto sobre o produto é de -0,27% por ponto percentual de isolamento.

Quadro 10: Impacto dos níveis de isolamento em cada variável por ponto percentual de isolamento para $\sigma = 0,7$ (%)			
	0% a 25%	25% a 40%	40% a 55%
Consumo Imediato (soma, bi)	0.12	-0.35	-0.65
Consumo + Poupança (soma, bi)	0.04	0.07	0.09
Preços (média)	-0.54	0.15	1.14
Horas totais (soma, mi)	0.00	0.00	0.00
Horas efetivas (soma, mi)	0.03	-0.02	0.02
% horas	0.03	-0.02	0.02
Casos (soma)	-0.79	-1.42	-2.34
Mortes (soma)	-0.96	-1.17	-2.44

A renda total, consumo + poupança, assim como no cenário simulado com os parâmetros anteriores, cresce conforme o nível de isolamento aumenta. Este resultado tem provavelmente relação com o aumento da preferência dos agentes por poupar em momentos de desconfiança sanitária e econômica causada pelo medo do contágio, fazendo com que o consumo seja retraído e convertido em poupança. Além disso, a redução de interações e de produto disponível pra

consumo imediato pode acabar fazendo com que os agentes decidam poupar, substituindo consumo imediato.

Mais uma vez, os diferentes níveis de isolamento geraram comportamentos distintos sobre os preços. A diferença está não só na escala das mudanças, mas também no seu sinal. Para níveis baixos de isolamento o efeito sobre preços é negativo em 0,50% por ponto percentual de isolamento. Para níveis de isolamento entre 25% e 40% os preços médios sobem 0,26% por ponto percentual. Entre 40% e 55% de isolamento, os preços médios sobem por volta de 1,02% por p.p.. A queda de preços a 25% de isolamento tem provável relação com reduções de produto pelo alto nível de contágio, que eleva a percepção de medo dos agentes e retrai consumo, embora não haja contração relevante da produção em si como fruto do isolamento. À medida que o nível de isolamento cresce, as possibilidades de consumo diminuem pela limitação de interações econômicas, mas a produção é menos afetada pelo fator medo e pela retirada de mão de obra infectada.

As horas de trabalho totais e efetivas, considerando a entrada e a saída probabilística de agentes na rede urbana, é mantida praticamente estável entre os cenários. A proporção de horas trabalhadas por horas efetivas é, para todos os níveis de isolamento, maior que aquela observada nos cenários sem restrições sanitárias. Isto indica que o efeito do contágio sem restrições, assumindo agentes reativos que adaptam sua oferta de trabalho, é considerável sob estes parâmetros, embora, sob $\sigma = 0,6$, o produto sem medidas restritivas seja maior do que o sob restrições em todos os níveis de isolamento.

As maiores diferenças entre os cenários estão, como esperado, nas variáveis sanitárias. O número de casos caiu 0,94% a cada 1 ponto percentual de isolamento entre os níveis de isolamento 0% e 25%, 1,42% por p.p entre 25% e 40% e 2,34% por p.p entre 40% e 55%. Da mesma forma, houve redução de 1,01% no número de mortes por ponto percentual de isolamento para os níveis de isolamento entre 0% e 25%, 1,33% por ponto percentual de isolamento entre 25% a 40% e 2,28% por ponto de isolamento entre 40% e 55%. A média de redução de casos e mortes é, respectivamente, de -1,57% e -1,60% por ponto percentual de isolamento.

Mostra-se aqui a existência de uma dicotomia clara entre determinadas variáveis econômicas e sanitárias. Há, notadamente,

uma relação inversamente proporcional entre consumo imediato, casos e mortes a partir dos níveis de isolamento social. Em termos relativos, na comparação entre o cenário sem restrições com aquele de 55% de isolamento, tem-se que cada caso e cada morte a menos representaram, respectivamente, -28.154 e -234.455 unidades de produto.

4.6 RESULTADOS COM TRANSFERÊNCIAS DIRETAS

De forma a complementar à análise, aproximando-a dos tipos de política pública implementados na realidade, simulou-se a introdução de uma transferência direta de renda para compensar a redução das horas trabalhadas por cada indivíduo durante o período de isolamento. Esta transferência é financiada pela cobrança de um imposto (1,5%) sobre a renda diária de cada indivíduo saudável habitante da cidade j durante os períodos em que não há medida restritiva implementada na cidade em questão. O imposto só é cobrado nos cenários em que há transferência de renda. A arrecadação é mantida por cidade e passa a ser distribuída durante cada dia de isolamento para todos aqueles indivíduos que estejam ofertando menos horas de trabalho que as 8 horas diárias padrão. O pagamento é feito conforme a proporção de horas não trabalhadas do indivíduo i na cidade j , com um valor base multiplicado pelas horas não trabalhadas. Como referência, adotou-se um valor base equivalente a 100% do salário/hora. Importante ressaltar que inicialmente este benefício não foi incorporado à decisão de horas de trabalho ofertadas, não havendo, portanto, comportamento dinâmico dos agentes neste sentido. Assim, neste artigo a transferência seria uma compensação pelo de fato ocorrido em termos de medo e incapacidade de saúde, não gerando comportamentos estratégicos de exposição ou não exposição por parte dos agentes na ponderação de risco-retorno em relação a eventos futuros.

Os cenários com medidas restritivas e transferências são comparados àqueles com medidas restritivas sem transferência de renda.

Quadro 11: Comparativo das principais variáveis econômicas com e sem transferências de renda $\sigma = 0,6$ (%)		
Isolamento=25% Sigma=0.6 Rho=0.5	Isolamento=40% Sigma=0.6 Rho=0.5	Isolamento=55% Sigma=0.6 Rho=0.5

	Com transferências		Sem transferências		Com transferências		Sem transferências		Com transferências		Sem transferências	
	Dados	IC (95%)	Dados	IC (95%)	Dados	IC (95%)	Dados	IC (95%)	Dados	IC (95%)	Dados	IC (95%)
Consumo Imediato (soma, bi)	8.80	[8.44; 9.15]	8.62	[8.59; 8.65]	7.87	[7.8; 7.93]	8,16	[7.67; 8.65]	7.54	[7.41; 7.66]	7.42	[7.35; 7.49]
Consumo + Poupança (soma, bi)	20.41	[20.35; 20.46]	20.45	[20.35; 20.55]	20.52	[20.5; 20.53]	20,62	[20.54; 20.68]	20.82	[20.76; 20.88]	20.92	[20.88; 20.96]
Preços (média)	12.23	[12.19; 12.26]	12.40	[12.34; 12.45]	12.34	[12.31; 12.36]	12,65	[12.57; 12.72]	14.25	[14.21; 14.28]	14,54	[14.51; 14.56]
Horas totais (soma, mi)	255.12	[254.75; 255.48]	255.58	[254.9; 256.25]	254.36	[254.07; 254.65]	255,87	[255.01; 256.71]	255.12	[254.75; 255.48]	255.58	[254.9; 256.25]
Horas efetivas (soma, mi)	252.24	[251.86; 252.61]	253.96	[253.31; 254.6]	251.95	[251.65; 252.24]	253,39	[252.59; 254.19]	252.24	[251.86; 252.61]	253.96	[253.31; 254.6]
% horas	98.87%	-	99.37%	-	99.05%	-	99,03%	-	98.87%	-	99.37%	-

No cenário com transferências, nota-se uma diferença marginal para baixo, dentro do intervalo de confiança, em termos de consumo para níveis de isolamento 25% e 40%. Para o nível 55%, há aumento do consumo sob transferências com média fora do intervalo de confiança observado no cenário sem transferências. Em termos de renda, o resultado foi menor sob transferências em todos os níveis de isolamento, com especial atenção para a comparação dos intervalos de confiança com 55% de isolamento, cujo limite superior fica abaixo do limite inferior observado nos cenários sem transferências. Para as demais comparações em termos de renda, tais intervalos são próximos ou apresentam consideráveis interseções.

A principal diferença entre o cenário com e sem transferências está nos preços. Nos cenários com transferências, os preços ficaram abaixo daqueles observados nos cenários com transferências, destacando-se os intervalos de confiança díspares. Este resultado está

provavelmente associado ao impacto negativo da arrecadação sobre o consumo imediato. Tendo em vista que os impostos são cobrados durante períodos em que não há isolamento e retornados parcialmente em transferências diretas durante os períodos de isolamento para aqueles que ofertam menos que oito horas diárias (doentes ou não), o efeito líquido sobre a renda disponível para consumo ao longo do tempo aparenta ser negativo. Assim, mesmo com a implementação das transferências, tal renda adicional não se converte em demanda suficientemente alta durante os períodos de pagamento do auxílio, de forma que consumo imediato e preços ficam, em geral, em patamares mais baixos que aqueles observados no cenário sem transferências.

Exceto pelo cenário sob 25% de isolamento, que apresenta leve variação para cima, as horas efetivas como proporção das horas totais efetivas foram mais baixas com transferências.

Quadro 12: Comparativo das principais variáveis econômicas com e sem transferências de renda $\sigma = 0,7$												
	Isolamento=25% Sigma=0.7 Rho=0.5				Isolamento=40% Sigma=0.7 Rho=0.5				Isolamento=55% Sigma=0.7 Rho=0.5			
	Com transferências		Sem transferências		Com transferências		Sem transferências		Com transferências		Sem transferências	
	Isolamento	IC (95%)	Isolamento	IC (95%)	Isolamento	IC (95%)	Isolamento	IC (95%)	Isolamento	IC (95%)	Isolamento	IC (95%)
Consumo Imediato (soma, bi)	8,96	[8.79; 9.13]	9,15	[9.11; 9.17]	8.68	[8.63; 8.72]	8,67	[8.64; 8.69]	7,89	[7.81; 7.96]	7,82	[7.77; 7.87]
Consumo + Poupança (soma, bi)	20,46	[20.42; 20.5]	20,41	[20.36; 20.46]	20.64	[20.6; 20.68]	20,63	[20.57; 20.68]	20,94	[20.85; 21.02]	20,90	[20.82; 20.97]
Preços (média)	11,88	[11.84; 11.91]	12,11	[12.03; 12.18]	12.16	[12.09; 12.22]	12,38	[12.32; 12.43]	14,12	[14.08; 14.15]	14,50	[14.46; 14.53]
Horas totais (soma, mi)	255,90	[255.24; 256.55]	255,67	[254.99; 256.35]	256,07	[255.56; 256.57]	255,60	[255.01; 256.17]	255,90	[255.24; 256.55]	255,67	[254.99; 256.35]
Horas efetivas (soma, mi)	252,96	[252.3; 253.61]	253,99	[253.26; 254.7]	253,61	[253.12; 254.09]	253,14	[252.52; 253.75]	252,96	[252.3; 253.61]	253,99	[253.26; 254.7]
% horas	98,85%	-	99,34%	-	99,04%	-	99,04%	-	98,85%	-	99,34%	-



5



5

Considerações Finais e Implicações de Política

O resultado das simulações demonstra a complexidade dos possíveis efeitos econômicos de políticas de isolamento social quando consideradas não-linearidades como efeitos psicológicos, arranjos sociais, preferências, costumes e movimentos migratórios. Nesse sentido, apesar de notar-se a existência, em geral, de efeitos econômicos negativos quando implementadas medidas restritivas para conter o avanço do contágio, tais efeitos podem ser mitigados e até invertidos sob certas circunstâncias, como nos níveis de preferência por manter atividades econômicas ou não econômicas sob isolamento, o nível de isolamento e o grau de medo dos agentes.

Para além do impacto negativo do isolamento sobre o produto na maior parte dos cenários, o efeito sobre variáveis econômicas de maneira mais geral é menos linear do que sugere ser em primeira análise. Este é o caso, por exemplo, da redução de preços e aumento da poupança sob determinados cenários considerados negativos do ponto de vista de produto. Ainda nesse sentido, não obstante a redução do consumo imediato por conta de restrições de interação entre os agentes em certos cenários, houve, por exemplo, contração espontânea das horas de trabalho ofertadas no cenário sem medidas restritivas. Tais não-linearidades mais uma vez demonstram que o comportamento autônomo e reativo dos agentes é um aspecto relevante a ser considerado no desenho de políticas públicas, podendo mitigar ou até mesmo inverter o sentido das políticas implementadas.

Em termos de fundamentos para a decisão governamental sobre a implementação ou não de medidas restritivas, percebe-se que o isolamento de fato contribuiu para a mitigação de mortes e casos em todos os cenários, mesmo naqueles em que o resultado econômico das restrições foi positivo. Esta relação sugere a existência de forte custo humano na decisão de não implementar medidas restritivas como forma de preservar o produto, mesmo que tais medidas nem sempre sejam de fato economicamente negativas. Ademais, o trabalho sugere que embora verdadeira a existência da dicotomia entre economia e saúde para certos parâmetros, tal oposição nem sempre é

necessariamente verdadeira, podendo haver certos arranjos de política que, quando combinados com determinados parâmetros comportamentais, são capazes de mover ambas as dimensões no mesmo sentido.

Quanto à implementação de transferências diretas para compensar os impactos do contágio, ressalvado o comportamento dos preços, são percebidos efeitos econômicos relativamente pequenos, em sua maioria dentro do intervalo de confiança observado para os cenários sem transferências. Estes resultados, no entanto, parecem depender fortemente do desenho da arrecadação e do critério de pagamento dessas transferências, o que pode ser estudado mais detidamente em trabalhos futuros.

Assim, voltando às hipóteses elencadas no início do trabalho, tem-se a confirmação parcial da 1ª Hipótese (*Lockdowns* geram efeitos negativos sobre a economia no curto prazo). Como visto, sob certas circunstâncias os efeitos de medidas restritivas de contato podem ser positivos sobre o produto, sobre as horas trabalhadas e sobre a poupança.

A 2ª Hipótese (Há uma relação não-linear entre efeitos negativos dos *lockdowns* sobre a economia e tempo, com efeitos positivos originados da contenção do contágio e na redução do fator medo) é reforçada pela existência de simulações em que o isolamento gera resultados econômicos positivos em comparação com o cenário sem isolamento, tendo como explicação a redução do medo dos agentes e o menor contágio da mão de obra.

Quanto às perspectivas de desenvolvimento de futuros trabalhos, acredita-se que há, neste artigo, uma prova de conceito capaz de basear uma gama considerável de investigações. Este artigo trouxe um modelo de contágio baseado em agentes aspectos inovadores como interações agente-agente em decisões migratórias, sanitárias e econômicas. Além do uso de grafos para expandir os modelos SIRD tradicionais para uma rede metropolitana em que cada cidade é um universo econômico próprio, o modelo inova ao inserir a lógica de grafos sociais também ao entorno dos agentes, que, para decidir sobre migração, consumo, poupança e oferta de trabalho passam a monitorar não só o estado epidemiológico da cidade que habitam, mas também das pessoas próximas. Partindo desses mecanismos, o modelo permite

simular inúmeras medidas de contenção do contágio e avaliar seus resultados sobre agentes dinâmicos, reativos. Embora pelas limitações de tempo, espaço e capacidade de processamento tenha sido estudado neste artigo apenas um tipo de medida restritiva (a redução de contatos diários pelos agentes de forma individualizada por cada cidade), tem-se aqui uma plataforma para o estudo de muitas outras políticas, sejam sanitárias, sejam econômicas.

Em termos sanitários, cita-se, por exemplo, a implementação de restrições de trânsito entre cidades da rede; restrições de fluxo imigratório de fora da rede; implementação de medidas restritivas gerais, sobre toda a região; simulação de diferentes gatilhos de medidas restritivas; simulação de diferentes esquemas de restrição (restrições dinâmicas ou por tempo determinado); implementação de medidas restritivas além do isolamento (uso de máscaras, por exemplo) e afins.

Do ponto de vista econômico, o modelo possibilita o estudo de políticas de transferência de renda compensatórias com outros desenhos além do apresentado aqui; a inclusão viscosidades e custos contratuais; a implementação de um mercado de trabalho com salários dinâmicos; o uso de firmas como agentes individuais, não-representativos; a definição de critérios para a abertura/fechamento de firmas; taxas de juros flutuantes; esquemas de seguro desemprego; simulação de setores essenciais e não-essenciais, com medidas restritivas afetando-os de maneira distinta; inter-relação econômica entre cidades, com cadeias logísticas e muitos outros temas.



REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

ATKESON, Andrew. [What Will Be the Economic Impact of COVID-19 in the US? Rough Estimates of Disease Scenarios](#). National Bureau of Economic Research Working Paper Series No. 26867, 2020.

EICHENBAUM, Martin S.; REBELO, Sergio; TRABANDT, Mathias. [The Macroeconomics of Epidemics](#). National Bureau of Economic Research Working Paper Series No. 26882, 2020.

MOSER, Christian A; YARED, Pierre. [Pandemic Lockdown: The Role of Government Commitment](#). National Bureau of Economic Research Working Paper Series No. 27062, 2020

FAJGELBAUM, Pablo; KHANDELWAL, Amit; KIM, Wookun; MANTOVANI, Cristiano; EDOUARD. [Optimal Lockdown in a Commuting Network](#). National Bureau of Economic Research Working Paper Series No. 27441, 2020

BUERA, Francisco J; FATTAL-JAEF, Roberto N; HOPENHAYN, Hugo; NEUMEYER, P. Andres; SHIN, Yongseok. [The Economic Ripple Effects of COVID-19](#). National Bureau of Economic Research Working Paper Series No. 28704, 2021

ACEMOGLU, Daron; CHERNOZHUKOV, Victor; WERNING, Iván; WHINSTON, Michael D.. [A Multi-Risk SIR Model with Optimally Targeted Lockdown](#). Cemmap Working Paper CWP14/20

ARINO, Julien; VAN DEN DRIESSCHE, Pauline. [A Multicity Epidemic Model](#). Mathematical Population Studies, 10, 175-193, 2003

KERMACK, William O.; MCKENDRICK, Anderson G.. [A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics](#). Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character, Vol. 115, No. 772, pp. 700-721, 1927

GONZALEZ-EIRAS, Martín; NIEPELT, Dirk. [On the optimal 'lockdown' during an epidemic](#). CESifo Working Paper Series 8240, CESifo., 2020

KÖHLER, Johannes; SCHWENKEL, Lukas; KOCH, Anne; BERBERICH, Julian; PAULI, Patricia; ALLGÖWER, Frank. **Robust and optimal predictive control of the COVID-19 outbreak.** *Annual Reviews in Control* 51, 2021: 525-539.

AURAY, S.; EYQUEM, A. **The macroeconomic effects of lockdown policies.** *Journal of public economics*, 190, 104260, 2020

FORSYTHE, E.; KAHN, L. B.; LANGE, F. e WICZER, D. **Labor demand in the time of COVID-19: Evidence from vacancy postings and UI claims.** *Journal of public economics*, 189, 104238, 2020

KONG, E. **Disentangling Policy Effects Using Proxy Data: Which Shutdown Policies Affected Unemployment During the COVID-19 Pandemic?** *Journal of Public Economics*, 189, 2020.

FANG, WANG, YANG. **Human mobility restrictions and the spread of the Novel Coronavirus (2019-nCoV) in China.** *Journal of Public Economics*, 191, 2020

ALTIG, D.; BAKER, S.; BARRERO, J.M.; BLOOM, N.; BUNN, P.; CHEN, S.; DAVIS, S.J.; LEATHER, J.; MEYER, B.; MIHAYLOV, E.; MIZEN, P.; PARKER, N.; RENAULT, T.; SMIETANKA, P.; THWAITES, G. **Economic uncertainty before and during the COVID-19 pandemic.** *Journal of Public Economics*, 191, 2020

CROSSLEY, T.F.; FISHER, P.; LOW H. **The heterogeneous and regressive consequences of COVID-19: Evidence from high quality panel data.** *Journal of Public Economics*, 193, 2020

SOUZA, J. S. **Dinâmica Populacional na Região Metropolitana de Goiânia: fluxos e mobilidades. 2016.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

CONSIDERA, C.; CUNHA, J.; ANDRADE, E. **The Brazilian Output Gap - 1980-2019**, CIRET/KOF/OECD/INSEE Workshop Boulogne, Billancourt (França), 2019

NAPOLETANO, M. **A Short Walk on the Wild Side: Agent-based Models and Their Implications for Macroeconomic Analysis.** *Revue de l'OFCE*, 3, 257-281, 2018

FARMER, J.; DOYNE; DUNCAN, F. **The Economy Needs Agent-Based Modelling.** *Nature* 460 (7256): 685, 2009

KIRMAN, A. **Whom or What Does the Representative Individual Represent?** *Journal of Economic Perspectives*, 6, 117-136, 1992

SCHAUBERGER, P.; WALKER, A. **openxlsx: Read, Write and Edit xlsx Files.** Pacote R versão 4.2.5., 2021

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis.** *Springer-Verlag New York*, 2016.

GENZ, A.; BRETZ, F. **Computation of Multivariate Normal and t Probabilities.** *Lecture Notes in Statistics, Vol. 195., Springer-Verlag, Heidelberg. ISBN 978-3-642-01688-2*, 2009

MELO, R. A.; RODRIGUEZ, D.; ZARRUK, D. **gmapsdistance: Distance and Travel Time Between Two Points from Google Maps.** Pacote R versão 3.4., 2018.

CSARDI, G.; NEPUSZ T. **The igraph software package for complex network research,** *InterJournal, Complex Systems* 1695, 2006.

BUTTS, C. **network: Classes for Relational Data.** The Statnet Project Pacote R versão 1.13.0.1, 2015

BUTTS, C. **network: a Package for Managing Relational Data in R.** *Journal of Statistical Software*, 24 (2), 2008

MERSMANN, O.; TRAUTMANN, H.; STEUER, D.; BORNKAMP, B. **truncnorm: Truncated Normal Distribution.** Pacote R versão 1.0-8., 2018



