UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E
CONTABILIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

MICHEL CANTAGALO

Os preços são muito rígidos? A mesma questão e as novas
respostas encontradas através da modelagem computacional
baseada em agentes

Orientador: Prof. Dr. Jaylson Jair da Silveira

RIBEIRÃO PRETO
2010

Prof^a. Dr^a. Suely Vilela Sampaio
Reitora da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Rudinei Toneto Junior
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e
Contabilidade de Ribeirão Preto

Prof. Dr. Walter Belluzzo Junior
Chefe do Departamento de Economia

MICHEL CANTAGALO

Os preços são muito rígidos? A mesma questão e as novas respostas encontradas através da modelagem computacional baseada em agentes.

Dissertação apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Economia.

Área de concentração: Economia Aplicada

Orientador: Prof. Dr. Jaylson Jair da Silveira

RIBEIRÃO PRETO
2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Cantagalo, Michel

Os preços são muito rígidos? A mesma questão e as novas respostas encontradas através da modelagem computacional baseada em agentes. Ribeirão Preto, 2010

74 f. : il.

Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

Orientador: Silveira, Jaylson Jair da

1. Ajustamento Nominal 2. Complexidade 3. Sistemas Sociais Adaptativos

Nome: CANTAGALO, Michel

Título: Os preços são muito rígidos? A mesma questão e as novas respostas encontradas através da modelagem computacional baseada em agentes

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Economia, Administração e Contabilidade
de Ribeirão Preto da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de
Mestre em Economia.**

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Para Cliver, Kamui e Rafa, meus companheiros nessa jornada.
Sem vocês, o primeiro ano do mestrado teria sido bem mais difícil!

AGRADECIMENTOS

À Eunice, Sebastião, Michely e Marcel, minha família, a base de tudo.

Ao professor Vital Pasquareli, por ser um amigo e um guia no mundo acadêmico.

Ao professor Dante e ao senhor Ivo, pela sabedoria e amizade.

Ao professor Dr. Jaylson, pela oportunidade de aprendizado e pela dedicação.

À Paula, por ser minha companheira nesse momento da vida e a sua família pelo apoio oferecido.

À Universidade de São Paulo, que mais uma vez me abrigou em seu ambiente acadêmico.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por ter apoiado e financiado meu projeto.

E a Deus, em sua forma mais abstrata, subjetiva e plural.

Perder uma ilusão faz você mais
sábio do que achar uma verdade.

Karl Ludwig Borne

RESUMO

CANTAGALO, M. **Os preços são muito rígidos? A mesma questão e as novas respostas encontradas através da modelagem computacional baseada em agentes.** 2010. 74 f. Dissertação Mestrado - Faculdade de Economia Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2010.

A moeda fiduciária permitiu o surgimento da política monetária e esta vêm ganhando cada vez mais destaque entre as ferramentas e políticas econômicas. Porém, não existe consenso no meio acadêmico sobre a influência da política monetária à economia, alguns acreditam que ela apenas resulta em variações nominais e outros que ela pode afetar fatores reais da economia. Diversas pesquisas feitas comprovam, ao menos no curto prazo, a existência do chamado ajuste nominal incompleto, onde choques monetários afetam os valores reais dos agregados econômicos. Porém, quais são os custos e externalidades que advem desta rigidez de preços? Tentando oferecer novas respostas a esta questão, remontamos o reconhecido modelo de Ball e Romer (1989) sob a perspectiva da complexidade e dos modelos computacionais baseados em agentes. Os resultados encontrados nesta nova perspectiva foram muito diferentes dos resultados encontrados no modelo original, com a possibilidades de vantagens e externalidades positivas da rigidez, inserção de problemas distributivos, valores mais significativos de custos privados e sociais vinculados à rigidez, tudo isso devido à heterogeneidade presente no modelo computacional.

Palavras-chave: Ajustamento Nominal. Complexidade. Sistemas Sociais Adaptativos.

ABSTRACT

CANTAGALO, M. **Are prices too sticky? The same question and the new achieved answers from the agent-based computational modeling.** 2010. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Economia Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2010.

The fiduciary money allowed the emergence of monetary policy, that are gaining more prominence among the economic tools and policies. However, there is no consensus in the academy about the influence of the monetary policy in the economy, some believe it results in only nominal changes, others that it can affect real factors of the economy. Several researches show, at least in the short term, the existence of so-called incomplete nominal adjustment, where monetary shocks affect the real values of economic aggregates. But which are the costs and externalities that come from this price rigidity? Trying to provide new answers to this question, we reassembled the recognized model of Ball and Romer (1989) from the perspective of complexity and computational agent-based models. The new results are very different from the findings of the original model, with the potential benefits and positive externalities from rigidity, insertion of distributive problems, more significant amounts of private and social costs related to rigidity, all because of the heterogeneity inserted by the computational model.

Keywords: Nominal Adjustment. Complexity. Adaptive Social Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	As curvas de demanda defrontadas pela firma i no mercado de concorrência monopolística	30
Figura 2 -	A regra comportamental na definição das horas de trabalho do agente k	35
Figura 3 -	A regra comportamental na definição dos preços do agente k	35
Figura 4 -	A regra comportamental na definição das horas de trabalho do agente i , quando $i \neq k$	36
Figura 5 -	A regra comportamental na definição dos preços do agente i , quando $i \neq k$	36
Figura 6 -	A regra comportamental do processo de compra	37
Figura 7 -	Um fluxograma representando o funcionamento do modelo computacional	40
Figura 8 -	Um exemplo de resultado de simulação. Os valores do nível de preços nos dez mil passos de uma simulação com $\epsilon = 14.59052282$ e $\gamma = 33.12724454$	45
Figura 9 -	Um exemplo de resultado de simulação. Os valores do produto médio nos dez mil passos de uma simulação com $\epsilon = 14.59052282$ e $\gamma = 33.12724454$	46
Figura 10 -	Os cem valores da variância da quantidade de moeda encontrados nas simulações	47
Figura 11 -	Os cem valores do nível de preços encontrados nas simulações	47
Figura 12 -	Os cem valores da variância dos preços encontrados nas simulações	48
Figura 13 -	Os cem valores do produto médio encontrados nas simulações	49
Figura 14 -	Os cem valores da variância do produto encontrados nas simulações	49
Figura 15 -	Os cem valores do consumo médio encontrados nas simulações	50
Figura 16 -	Os cem valores da variância do consumo encontrados nas simulações	50
Figura 17 -	Os cem valores da utilidade média encontrados nas simulações, comparados aos valores esperados da utilidade indireta estática	51
Figura 18 -	Os cem valores da utilidade do agente k encontrados nas simulações, comparados aos valores esperados da utilidade indireta estática	52
Figura 19 -	Os cem valores da variância da utilidade encontrados nas simulações	52
Figura 20 -	Um fluxograma que resume o funcionamento do modelo computacional	54
Figura 21 -	Os 52 valores do nível de preços encontrados nas simulações com rigidez total	56
Figura 22 -	Os 52 valores do produto médio encontrados nas simulações com rigidez total	57
Figura 23 -	Os 52 valores do custo privado encontrados nos blocos de simulações	59
Figura 24 -	Os 52 valores esperados do custo privado estático, sob os parâmetros	

utilizados nas simulações	59
Figura 25 - Os 52 valores esperados do custo social estático, sob os parâmetros do modelo dinâmico	61
Figura 26 - Os 52 valores encontrados do custo social nos 52 blocos de simulações	61
Figura 27 - As externalidades resultantes do modelo dinâmico	63
Figura 28 - As externalidades esperadas no modelo estático, sob os parâmetros do modelo dinâmico	64
Figura 29 - Os valores de R esperados no modelo estático, sob os parâmetros do modelo dinâmico.....	65
Figura 30 - Os valores de R do modelo dinâmico	65
Figura 31 - Os valores Rn do modelo dinâmico (escala log)	66

LISTA DE SÍMBOLOS

- N - Número de agentes na economia
- U_i - Utilidade do agente i
- C_i - Índice de consumo de agente i
- $C_{i,j}$ - Quantidade consumida do bem j pelo agente i
- ϵ - Elasticidade de substituição entre bens
- γ - Desutilidade marginal do trabalho
- L_i - Oferta de horas do agente i
- z_i - Custo de menu do agente i
- D_i - *Dummy* que assinala a atualização ou não atualização do preço do agente i
- Y_i - Produção do agente i
- M - Demanda por moeda do agente representativo (W/N)
- P - Nível de preços da economia
- P_i - Preço do bem i
- C - Consumo médio da economia
- $varP$ - Variância entre os preços dos agentes
- $varC$ - Variância entre as quantidades consumidas pelos agentes
- Y^M - Produção média da economia
- $varY$ - Variâncias entre as quantidades produzidas pelos agentes
- U^M - Utilidade média da economia
- $varU$ - Variância entre as utilidades dos agentes
- Y^{dM} - Demanda média por agente
- $varY^d$ - Variância das quantidades demandadas por agente
- $varM$ - Variância das quantidades de moedas dos agentes
- k - Agente com melhor utilidade na economia
- W - Estoque de moeda da economia
- seed* - Base dos números aleatórios das simulações
- U^* - Máxima utilidade do modelo estático
- CS - Custo social
- CP - Custo Privado
- P_0 - Nível de preço no ambiente de rigidez total
- R - Razão entre custo social e custo privado

R_n - Razão modificada entre custo social e custo privado

VI - Valor inicial da probabilidade do agente atualizar ou não seu preço

$Prob_{0i}$ e $Prob_{1i}$ - Probabilidades de não atualizar e atualizar o preço do agente i , respectivamente

UA_{0i} e UA_{1i} - Utilidade acumulada do agente i ao não atualizar e atualizar seus preços, respectivamente

U_{0it} e U_{1it} - Utilidade do agente i no período t caso ele não tenha atualizada seu preço e caso ele tenha, respectivamente

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
1 O AJUSTE NOMINAL	15
2 A ECONOMIA COMO UM SISTEMA COMPLEXO	22
2.1 Modelagem computacional baseada em agentes	24
3 OS PREÇOS SÃO MUITO RÍGIDOS? UMA QUESTÃO QUE PERMANECE	29
3.1 Estrutura e funcionamento do modelo	32
3.2 O equilíbrio de Nash simétrico e características emergentes.....	40
3.3 Custos privados e sociais da rigidez nominal em ambos modelos	52
3.4 Comparando os custos privados e sociais	62
CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

INTRODUÇÃO

Desde a formação dos primeiros agrupamentos humanos, as trocas de bens e serviços estão presentes nas relações interpessoais e são consideradas centrais ao sucesso de nossa espécie no processo evolutivo. Com o passar do tempo, os grupos sociais se expandiram, e com a formação das cidades e civilizações tornou-se necessário organizar as trocas humanas a partir de medidas de valor. Representando esta medida, a moeda, que surge na China em torno do ano 700 antes de cristo, foi uma tentativa bem sucedida de organizar a comercialização de produtos, e substituir o escambo.

Durante muitos anos, a moeda possuía um valor real que dependia do metal de que a mesma era feita. Com o advento da moeda feita de papel, e de outros materiais sem valor significativo, os bancos se tornaram responsáveis por lastrear a moeda, ou seja, por garantir que para cada moeda emitida existisse uma quantidade de metais¹ guardados correspondentes ao valor emitido. A partir da metade do século XX, o dinheiro foi perdendo seu respaldo em metais e o padrão ouro foi sendo trocado pela moeda fiduciária. As moedas sob o padrão fiduciário não possuem lastro e têm seu valor garantido pelo Estado e pela esperança de aceitação da mesma pela sociedade. Como a emissão da moeda fiduciária é responsabilidade do Estado, uma nova modalidade de política econômica ganha espaço, a política monetária.

Existe um certo consenso sobre as grandes metas das políticas econômicas: nível de emprego alto, estabilidade de preços, e crescimento acelerado. Sobre a compatibilidade entre os objetivos o consenso não é tão grande, e entre aqueles que acreditam na incompatibilidade dos mesmos se discute como um influencia a outro. Sobre os papéis que os vários instrumentos de política econômica podem e devem ter na busca destas metas existem menos consensos. Tendo menos de 100 anos de história como instrumento político, a política monetária ainda não é claramente compreendida, e assim, seu funcionamento é um tema relevante dentro das ciências econômicas.

Basicamente, quando o governo atua na economia através de uma política monetária ele tenta manter sob controle os ciclos econômicos modificando a quantidade de moeda disponível no mercado. Assim, a política monetária pode ser expansionista (aumentando

¹Principalmente ouro, o que levou tal padrão monetário a ficar conhecido como padrão ouro.

a quantidade de moeda disponível ao mercado) ou contracionista (reduzindo a quantidade disponível de moeda ao mercado). Alguns pesquisadores defendem que os choques monetários gerados por estas políticas têm apenas efeitos temporários sobre os valores reais dos agregados econômicos e que, dessa forma, no fim do ajuste a alteração na quantidade de moeda é convertida completamente em modificações nos valores nominais dos agregados econômicos, ou seja, em modificações nos preços dos bens e serviços da economia. Este primeiro grupo acadêmico acredita assim, no chamado ajuste nominal completo dos choques monetários. Outra parte da comunidade acadêmica, por sua vez, acredita que algumas alterações nos valores reais dos agregados macroeconômicos, gerados pela política monetária, serão permanentes, defendendo a idéia de que o ajuste nominal a essa nova configuração monetária é incompleto.

Muitos trabalhos publicados confirmam a existência dessa ilusão monetária que gera, ao menos no curto prazo, um ajustamento incompleto. Estes trabalhos demonstram que falhas de mercado - em suas várias formas - justificam a não completeza do ajustamento nominal. Tentando entender as perdas econômicas relacionadas a esta ilusão monetária, Ball e Romer (1989) desenvolvem um modelo de mercado de competição monopolística para verificar o quão grande pode ser a externalidade negativa vinda da rigidez de preços. Tal modelo é aqui por nós replicado sob a perspectiva metodológica da complexidade, numa tentativa de verificar a consistência dos resultados encontrados por Ball e Romer (1989). Os resultados desta nova versão do modelo são então comparados com os resultados da versão de 1989, numa busca por novos *insights* sobre a questão do ajuste nominal e por explicitações das diferenças entre as duas metodologias utilizadas.

No capítulo 1 é apresentada uma revisão bibliográfica sobre o tema do ajustamento nominal e as diversas justificativas à sua incompleteza. No capítulo 2 descrevemos a abordagem pela complexidade e a metodologia de modelagem computacional baseada em agentes. No terceiro capítulo apresentamos o modelo de referência (Ball e Romer, 1989), seus resultados, nossa interpretação do modelo e os novos resultados que foram diferentes em diversos aspectos. Os resultados nos levam a três principais verificações: 1) os custos privados e sociais da rigidez são de primeira ordem na maioria dos casos, 2) os custos sociais podem ser menores que os custos privados, mas na maioria dos casos os custos

sociais são muito maiores que os custos privados e 3) as externalidades da rigidez são grandes na maioria das situações. Finalizamos o trabalho fazendo considerações sobre os resultados.

CAPÍTULO 1

O AJUSTE NOMINAL

Embora seja um tema sempre presente nas discussões acadêmicas e de política econômica, não há unanimidade sobre a completeza, ou não, do ajuste nominal. Ademais, mesmo que o ajustamento nominal completo ocorra este dificilmente será instantâneo e, dependendo do tempo gasto em sua concretização, impactos no curto e médio prazo da economia podem não ser desprezíveis. Dessa maneira a velocidade com que o processo de ajuste dos salários e preços nominais ocorre se torna central à maioria dos modelos macroeconômicos (principalmente aos keynesianos).

Taylor (1999) fez uma grande revisão bibliográfica sobre o tema da rigidez de preços e salários, tanto da perspectiva teórica quanto da empírica, e demonstra que preços e salários não possuem a flexibilidade necessária para que ajustes instantâneos ocorram e que cada setor econômico define seus preços de maneira distinta, fazendo com que as variações no nível de preços ocorram de maneira heterogênea e não sincronizada. As conclusões de Taylor (1999) são confirmadas por estudos mais recentes, como o de Bils e Klenow (2004). Neste trabalho os autores utilizam-se de dados do *Bureau of Labor Statistics* dos EUA e encontram que metade dos preços se modifica em menos de 4,4 meses considerando promoções, ou em menos de 5,5 meses desconsiderando promoções. Para Taylor (1999) estes períodos eram aproximadamente de um ano, mas mesmo com estas novas conclusões as modificações nos preços estão longe de caracterizar ajustes instantâneos, fortalecendo a hipótese da existência dos ajustes nominais incompletos, ao menos no curto prazo.

Em sua detalhada revisão, Taylor (1999) afirma ainda que as teorias e os estudos empíricos corroboram não somente a propriedade de que choques monetários geram impactos de curto prazo no produto real e de longo prazo na inflação, mas também outras três importantes propriedades: (1) O efeito do choque monetário sobre o produto real é persistente, tendo um efeito de propagação que vai além do impacto inicial. (2) Existe uma correlação positiva entre produto real e inflação futura. (3) Existe uma correlação negativa entre inflação e produto real futuro.

Dessa maneira pode-se afirmar que o choque monetário expansionista/contracionista aumenta/diminui o produto real no curto prazo. Este(a) aumento/diminuição gera in-

flação/deflação que no longo prazo reduz/aumenta o produto real. Porém, quais são os motivos da rigidez de preços que prolongam o encadeamento destes eventos? Sob as premissas do chamado mercado de competição perfeita se torna óbvia a inexistência desta rigidez, porém a realidade pode ser mais complexa e não se adequar a estas premissas. Por este motivo, a grande maioria dos trabalhos que concluem a não completeza do ajuste nominal, ao menos no curto prazo, se baseiam em dados empíricos e modelos para demonstrar que falhas de mercado podem interferir na completeza do ajuste.

Lucas (1972), utilizando a perspectiva de Phelps (1969), que previa uma nova teoria de inflação e emprego na qual a curva de Philips era encontrada dentro das suposições neoclássicas, com exceção à idéia de que todas decisões são feitas sob informação completa, cria um modelo onde tal assimetria de informação torna indiscernível aos agentes racionais as variações reais e nominais das variáveis macroeconômicas após um choque monetário. Dessa maneira, mesmo com ajustes de preços instantâneos, a assimetria de informação gera não-neutralidade da moeda no curto prazo, mesmo que no longo prazo a neutralidade seja mantida. Lucas (1973), com dados macroeconômicos de 18 países, realiza um estudo empírico e confirma os resultados de seu trabalho publicado em 1972.

Outro trabalho recente e inovador sobre o tema da assimetria informacional é o de Woodford (2003). Neste artigo o autor busca reconsiderar as hipóteses de Lucas (1972) que afirmam que os efeitos reais temporários que surgem de distúrbios nominais resultam da informação imperfeita sobre a natureza destes distúrbios. Para o autor, sob estas hipóteses, Lucas (1972) encontra efeitos poucos persistentes dos distúrbios nominais, e contrariando esta noção, Woodford (2003) demonstra que a informação imperfeita pode justificar efeitos altamente persistentes no nível de atividade se duas suposições do modelo de Lucas (1972) forem alteradas. Primeiramente, um modelo de competição monopolística deve ser definido de maneira que as decisões ótimas de preços dependam fortemente dos preços definidos pelas outras firmas, tornando as expectativas cruciais para a dinâmica da inflação. Em segundo lugar, os tomadores de decisão devem ter conhecimento imperfeito sobre as condições do mercado, dado que possuem um canal limitado pelo qual obtêm informações. Para Woodford (2003) este ruído no processo de transmissão da informação pode ser caracterizado como um erro aleatório.

Outra linha de argumentação é encontrada nos modelos de contratos sobrepostos, desenvolvidos principalmente para análises dos ajustamentos de salário e emprego. Tais contratos limitam temporariamente os ajustes de salários e, conseqüentemente, dos preços, de forma que variações monetárias impactam o produto da economia. As principais contribuições neste sentido vêm de Fischer (1977) e Taylor (1980).

No trabalho de Fischer (1977), o autor, questionando a importância da política monetária, demonstra que a mesma pode gerar alterações no produto real mesmo em ambientes de racionalidade perfeita. Para isso, ele constrói um modelo de contratos sobrepostos com expectativas racionais e com cada contrato salarial tendo duração de dois períodos. Assim, estes contratos inserem no modelo um efeito de rigidez salarial de curto prazo, e com este, dado que a configuração monetária se altera mais freqüentemente que os salários, e dado o formato dos contratos, a política monetária tem a habilidade de alterar o produto real de curto prazo, mas não o de longo.

Complementando as conclusões de Fischer (1977), Taylor (1980) mostra que contratos salariais sobrepostos podem fazer a política monetária influenciar as variáveis macroeconômicas mesmo após o vencimento do último contrato, e que em caso de uma difusão de quebras de contratos os efeitos podem aumentar durante vários períodos antes de começar a diminuir.

Um outro fator causal para o ajuste nominal incompleto de curto prazo levantado na literatura especializada é a existência de custos de ajustamento de preços às firmas em mercados de concorrência monopolística. No modelo de Akerlof e Yellen (1985), por exemplo, as firmas reagem tentando se aproximar de um estado ótimo. Por um comportamento classificado pelos autores de quase-racional - que mantém a firma num estado sub-ótimo e que não lhe implica grandes custos - os preços são formados a partir de regras de bolso, definidas após um choque monetário. Segundo os autores, este comportamento implica em uma perda de receita marginal para a empresa relativamente pequena se comparada com aumento de produto gerado pela estabilização de preços, justificando a aceitação da estabilização pelo mercado. Assim, pequenos custos relacionados aos processos de decisão de preços podem garantir grandes flutuações provenientes de distúrbios nominais.

Mais recentemente, Mankiw e Reis (2002) propuseram um modelo de ajuste dinâmico

de preços baseado na suposição de que a informação se dissemina vagarosamente pela economia. Este modelo de informação-rígida, quando comparado aos modelos comuns de preços-rígidos, traz três propriedades inovadoras que são mais consistentes com as visões aceitas sobre os efeitos da política monetária. Primeiro, as deflações são sempre contracionistas. Segundo, os choques de política monetária têm seu máximo impacto na inflação com um significativo atraso. Terceiro, a variação da inflação é correlacionada com o grau de atividade econômica. No referido modelo é suposto que existe um custo para obter as informações sobre o mercado, portanto mesmo que os agentes sejam racionais, há uma limitação quanto às informações que este agente possui para tomar suas decisões. A cada período parte dos agentes atualiza suas informações, portanto a economia é formada por agentes que tomam decisões com informação atualizada e por agentes que tomam suas decisões sem estarem atualizados, o que faz com que o produto seja impactado por perturbações oriundas da política monetária.

A substituição da idéia dos preços-rígidos pela da informação-rígida veio por críticas que surgiram à primeira. Às vezes modelos de preços-rígidos geram aceleração do crescimento econômico e não recessão em períodos de deflação e não são bons para explicar a persistência da inflação. Estes problemas vêm de uma mesma fonte: enquanto os preços nestes modelos são rígidos, a taxa de inflação pode ser modificada rapidamente, contrariando dados analisados por Mankiw e Reis (2002) que salientam o papel da inércia inflacionária nos impactos dos distúrbios nominais.

Uma outra linha recente de explicação do ajustamento nominal incompleto no curto prazo é composta por modelos evolucionários. Carroll (2006) argumenta que desde Keynes os economistas que estudam questões macroeconômicas têm enfatizado a importância das expectativas dos agentes na determinação das variáveis macroeconômicas e atualmente estes economistas têm se dedicado à tarefa de modelar dados empíricos sobre expectativas, ao invés de supor racionalidade plena dos agentes. Seguindo esta tendência, o citado autor propõe um modelo de dinâmica evolucionária que trata o processo de formação de expectativas como um processo epidemiológico. Em seu modelo existem alguns agentes que possuem informações perfeitas sobre o mercado e, portanto, são capazes de formar expectativas de maneira racional. Estas expectativas, por sua vez, começam a se espalhar

através da mídia. Como os agentes não dedicam sua atenção igualmente aos noticiários, a capacidade de informar-se ou não é dada por uma relação de probabilidade. Carroll (2006) argumenta ainda que seu modelo é sustentado por dados sobre as expectativas de inflação e desemprego. Para o autor, o trabalho de Mankiw e Reis (2002) deixa a desejar quanto à explicitação dos microfundamentos, o que não ocorre com seu trabalho, dada a utilização da estratégia de modelagem oriunda da epidemiologia.

Ainda nesta linha de abordagens evolucionárias, podemos citar o artigo de Bonomo, Carrasco e Moreira (2003). Neste trabalho os autores fazem uso do corpo teórico dos jogos evolucionários para estudar os custos da deflação em termos de produto. Neste modelo, caracterizando uma limitação da racionalidade na definição de preços, após o choque apenas parte dos agentes muda instantaneamente sua atuação no mercado. A outra parcela continua se comportando como se o choque não tivesse ocorrido, e, por apenas parte dos agentes estarem no novo equilíbrio, um custo em termos de produto é gerado. Este custo será maior, quanto maior a proporção de agentes que não atualiza seu posicionamento de mercado. Dada a dinâmica evolucionária do modelo os agentes revêem seu posicionamento e assim a fração de agentes desatualizada tende a desaparecer no transcorrer do tempo. Assim, no longo prazo, o sistema converge para um estado no qual todos os agentes estarão no novo equilíbrio de Nash associado ao novo patamar de realização monetária.

Outra contribuição evolucionária é encontrada em Silveira e Lima (2008), em que um modelo de jogo evolucionário é desenvolvido com o intuito de proporcionar uma microfundamentação da rigidez de preço e do conseqüente ajustamento nominal incompleto, ao menos no curto prazo. Como em Bonomo, Carrasco e Moreira (2003), os autores utilizaram a dinâmica de replicação, que se baseia no princípio de seleção de que estratégias com desempenho acima da média se alastram na população de referência, enquanto as que estão abaixo da média tendem a desaparecer. Admitindo que nem toda a informação necessária para determinar o preço ótimo está disponível livremente, ou seja, que há um custo para adquirir tal informação, os agentes devem escolher entre adquirir as informações a um determinado custo ou se manterem desinformados. Os autores demonstram que caso umas das estratégias desapareça o ajustamento vem a ser completo e caso a estratégia do

sistema seja mista é possível à existência de um ajustamento nominal incompleto.

Em um outro trabalho dos autores, Lima e Silveira (2008), o modelo ganha novas definições. Nestas definições as empresas demonstram uma certa tolerância à perda. Caso a perda esteja dentro do nível aceito pela firma, ela não muda sua estratégia de fixação de preços, porém quando o nível da perda é superior ao aceitável a firma tende a rever sua estratégia. Este nível de “aceitação” à perda é considerado no modelo como aleatório e independente das situações das firmas e do tempo. Toda informação sobre os preços dos períodos passados é livre, e assim as firmas podem usá-la para a definição de seus preços presentes. Além disso, alguns agentes não esperam ver os resultados da estratégia para definir a sua própria de definição de preço, aumentando a heterogeneidade dos agentes do modelo. Neste modelo, tanto nas análises com mutação quanto nas análises sem mutação, a moeda se mostrou neutra, ou seja, os ajustamentos foram completos.

O trabalho de Saint-Paul (2005) é o único construído sob uma perspectiva evolucionária com uma metodologia computacional baseada em agentes tendo seus resultados alcançados por simulações que ganhou notoriedade tratando a questão do ajustamento nominal. O autor, tentando explicar a rigidez de preços, analisa a emergência de equilíbrios em uma economia formada por firmas de racionalidade limitada, gerados por estratégias pré-definidas de estabelecimento de preços. Como as firmas não conseguem encontrar o valor de seu preço ótimo utilizam regras de bolso na definição de preços. As regras que geram rendimento abaixo da média da economia são abandonadas e tendem a desaparecer assintoticamente.

No modelo de Saint-Paul (2005) a fixação de preços, bem como o lucro de uma firma sofrem influência das outras firmas do mercado. O autor aponta que mesmo que dentre as estratégias de definição de preço disponíveis esteja aquela que seria o equilíbrio de expectativas racionais, a economia não converge para este equilíbrio e, desta maneira, o ajuste nominal incompleto ocorre a um nível diretamente proporcional à diferença entre o equilíbrio estabelecido e o equilíbrio das expectativas racionais. Mesmo com este comportamento agregado, as simulações mostram que no longo prazo o ajuste nominal incompleto tende a não existir caso a autocorrelação dos choques monetários seja significativa. Segundo este trabalho, portanto, a baixa variância dos choques monetários

e o alto nível de interação entre as firmas são os principais elementos que justificam a existência de rigidez de preços na economia.

Mas qual é o salto metodológico que existe entre este trabalho de Saint-Paul (2005) e os trabalhos anteriormente citados? A diferença é que este trabalho não utiliza o leiloeiro Walrasiano, entre outras suposições extremamente abstratas, para caracterizar a relação entre as estruturas micro e macroeconômicas do mundo, tratando esta construção através da abordagem da complexidade.

CAPÍTULO 2

A ECONOMIA COMO UM SISTEMA COMPLEXO

Segundo Tesfatsion (2005) os economistas sempre se perguntaram como modelar a relação entre as estruturas micro e macroeconômicas. Até os dias de hoje o fundamento central utilizado para demonstrar esta relação é o modelo de equilíbrio Walrasiano, mesmo que este seja recorrentemente criticado pela sua excessiva abstração e falta de comprovação empírica.

A forma atualmente utilizada do modelo Walrasiano, segundo Katzner (1989) e Takayama (1985), pode ser descrita como um grupo de condições precisamente formuladas sob as quais alocações possíveis de bens e serviços podem ser orientadas por preços, tendo como base do sistema econômico, mercados descentralizados com propriedade privada dos recursos produtivos. Estas condições garantem a existência de um número finito de firmas que tomam preços e tentam maximizar lucros e que produzem bens e serviços com características conhecidas, e de um finito número de consumidores que tomam preços e dividendos como dados e buscam maximizar uma função de utilidade, exogenamente construída. Além disso, para o funcionamento do mercado, é necessária a existência do chamado leiloeiro Walrasiano, que determina os preços que garantem que todos produtos e serviços serão negociados. Com estas estruturas e com a suposição microeconômica da não-saciedade, todo equilíbrio Walrasiano será eficiente de Pareto. O problema é que os valores que caracterizam tais equilíbrios são encontrados através de condições de mercado impostas pelo leiloeiro Walrasiano, e não por ações de consumidores e firmas. Mas o que aconteceria se o leiloeiro Walrasiano fosse retirado? Simplesmente a dificuldade analítica cresceria tanto durante a resolução do modelo que o mesmo se tornaria insolúvel.

Com o passar do tempo, tecnologias e ferramentas estão se sofisticando e assim oferecendo aos economistas novas maneiras de modelar os processos macroeconômicos. Para um grande grupo de acadêmicos, está se consolidando, de maneira gradual, uma nova abordagem teórica para a Ciência Econômica. Esta consolidação vem como fruto de um movimento transformador, atualmente presente em várias outras ciências, em especial na Física e na Biologia, que tenta entender os fatos pela perspectiva da complexidade. A complexidade na Ciência Econômica tem foco no processo e na emergência (Arthur,

Durlauf e Lane, 1997, p. três), características da realidade que a Ciência Econômica moderna deixou em segundo plano. Em outros termos, a abordagem pela complexidade propõe que a evolução dos sistemas e a consolidação de macro-estruturas sejam vistas como conseqüências dos comportamentos micro-sociais.

Uma diferença crucial entre os modelos tradicionais que tratam o mundo como algo complicado, mas não complexo, é que na análise pela complexidade não se pode retirar as partes e analisá-las como um universo à parte, pois elas não existem fora de seu contexto. Para Miller e Page (2007) quando estes elementos que foram analisados separadamente começam a se unir e interagir é provável que as generalizações sobre seus comportamentos comecem a falhar e essa é a grande mudança do reino da “complicação” para o reino da complexidade. Portanto, esta abordagem vem para ser usada onde a redução já não é capaz de nos dar *insights*.

Por ter essa visão mais geral, os modelos que envolvem a complexidade têm maiores possibilidades de tratar a heterogeneidade dos agentes e as limitações de racionalidade destes. Em seus trabalhos, Taylor (1999, p. 1020-1021) afirma que os modelos futuros que considerarem a heterogeneidade dos agentes terão mais possibilidades de representar mais adequadamente nosso complexo mundo, enquanto Mankiw e Reis (2002, p. 1319), argumentam que os modelos que estudam o ajuste nominal devem buscar uma maior compreensão dos limites da racionalidade de seus agentes, pois este caminho parece produtivo para explicar as dinâmicas da relação inflação-produto.

Arthur, Durlauf e Lane (1997, p. 3-4), na introdução da coletânea “*The economy as an evolving complex system*”, listam algumas características definidoras dessa nova abordagem teórica: (i) as interações sociais ocorrem de forma dispersa entre agentes econômicos heterogêneos e adaptativos; (ii) essas interações são coordenadas por normas, instituições e organizações que são formadas endogenamente, de modo que não haja qualquer instância global e externa de controle; (iii) o sistema econômico tem regularidades emergentes e é constituído por vários níveis hierárquicos de coordenação; (iv) novidades surgem continuamente no sistema econômico; (v) e esse, conseqüentemente, encontra-se em contínuo processo de adaptação; e (vi) opera fora do equilíbrio, com possibilidades de ganhos de bem-estar.

Freitas (2003, f. 14) aponta três elementos centrais da complexidade em sistemas: (a) tais sistemas são formados por muitos agentes heterogêneos com capacidade de adaptação frente às mudanças do ambiente em que estão inseridos; (b) tais agentes passam por um processo de interação direta, utilizando os *feedbacks* de tal interação para redefinir seu próprio comportamento; e (c) apresentam padrões de coordenação e características emergentes de um para outro nível hierárquico. Ainda segundo o autor (Freitas, 2005, f. 15):

“a partir da identificação dessas três características, pode-se dizer que um sistema é do tipo complexo quando: a) suas partes são inteligentes, adaptativas e b) interagem mutuamente, gerando uma c) estrutura emergente, evolucionária e com ‘personalidade’ própria”.(Grifos no original).

O processo de ajustamento nominal apresenta as características listadas pelos autores supracitados. Com efeito, o ajustamento nominal a nível macroeconômico resulta de inúmeras decisões individuais sobre a fixação de inúmeros preços. Tais decisões são tomadas por várias firmas heterogêneas com relação à tecnologia, preços dos fatores, poder de mercado como demandante de insumos e/ou ofertante de produtos, capacidade de processamento e custos de informação, expectativas, etc. As firmas são racionais e procuram, portanto, se adaptar ao ambiente que criam em conjunto. Via de regra, não há qualquer instância global e externa de controle direto sobre as decisões individuais de fixação de preço. A fixação de preços acarreta mudanças drásticas de bem-estar e significativas mudanças estruturais de um sistema econômico. Dadas tais características, é natural estudar o processo de ajustamento nominal da perspectiva e com o arcabouço analítico da teoria dos sistemas complexos.

2.1 Modelagem computacional baseada em agentes

Sendo uma das metodologias mais utilizadas dentro da abordagem da complexidade, os modelos computacionais baseados em agentes, segundo Terano, Deguchi e Takadama (2004), podem ser definidos como um modo de estudar a economia, pela computação, modelando a evolução de sistemas descentralizados formados de agentes autônomos que

interagem entre si. Diferentemente dos modelos econômicos convencionais, nos quais muitas suposições simplificadoras devem ser feitas para que conclusões possam ser inferidas, nos modelos computacionais adaptativos e complexos o que vem como resultado (*output*) do modelo é bem mais do que foi colocado (*input*) em sua construção.

O modelo baseado em agentes (*agent-based model*, ABM)² é uma classe de modelos computacionais criados para simular ações e interações de agentes autônomos e avaliar suas conseqüências no sistema como um todo.

Segundo Sallach e Macal (2001), o ABM simula as simultâneas operações e interações de múltiplos agentes, numa tentativa de recriar e prever os fenômenos de um sistema complexo. O processo gera estruturas emergentes a nível macro, baseado em decisões realizadas a nível micro. Assim, simples comportamentos implementados em agentes podem gerar complexos sistemas coletivos³. Ainda para estes modelos, o todo é mais que a soma das partes, e os agentes são tipicamente caracterizados por racionalidade limitada agindo conforme seus próprios interesses (sociais, econômicos, de saúde, reprodutivos e etc.) através de heurística ou de simples regras de decisão. Os agentes criados podem ainda ter experiências de aprendizado, adaptação, reprodução entre outros eventos inspirados na vida real.

Ainda segundo Sallach e Macal (2001), a idéia de modelar a partir de agentes foi desenvolvida nos anos 1940 como um conceito relativamente simples. Dado que ele requer procedimento intensivos de computação, ele não se tornou difundido até os anos 90.

A história dos ABM's tem como primeiro momento a máquina de Von Neumann, uma máquina teórica que poderia se reproduzir. O dispositivo proposto por Von Neumann seguia precisamente detalhadas instruções para criar uma cópia de si mesma. A idéia foi então melhorada por Stanislaw Ulam, um amigo de Von Neumann que também era matemático. Ulam sugeriu que a máquina fosse feita no papel como uma coleção de células em uma grade. A idéia intrigou Von Neumann (1966), que fez o sugerido, criando o primeiro dispositivo do que posteriormente seria chamado de autômato celular.

²Os modelos baseados em agentes também são conhecidos como sistemas multi-agente ou simulações multi-agente.

³Este princípio é conhecido como KISS (*Keep It Simple and Stupid*), foi introduzido por Robert Axelrod (1997) e é amplamente adotado pela comunidade da modelagem computacional.

Outro melhoramento foi introduzido pelo matemático John Conway. Ele construiu o agora reconhecido Jogo da Vida. Diferentemente da máquina de Von Neumann, o Jogo da Vida de Conway operava com regras tremendamente simples em um mundo virtual bidimensional que tem o formato de um tabuleiro de xadrez.

Um dos primeiros ABM foi o modelo de segregação de Thomas Schelling (1971). Mesmo que originalmente Schelling tenha usado moedas e papel quadriculado ao invés de computadores, seu modelo utilizou os conceitos básicos da modelagem baseada em agentes: agentes autônomos que interagem em um mesmo ambiente e geram emergências a nível macro.

No início dos anos 1980, Robert Axelrod organizou um torneio de estratégias ao dilema do prisioneiro, fazendo as estratégias interagirem num sistema baseado em agentes para determinar a estratégia vencedora. Nos anos seguintes o autor desenvolveria diversos ABM's para examinar fenômenos como o etnocentrismo e a disseminação cultural (Axelrod 1997).

No final dos anos 1980, o trabalho de Craig Reynolds (1987) em modelos de flockagem contribuiu para o surgimento dos primeiros modelos biológicos baseados em agentes. Craig tentou modelar a realidade de organismos biológicos, o que mais tarde veio a ser chamado de inteligência artificial⁴.

É difícil afirmar quem é o pai do termo modelo baseado em agentes, porém o maior candidato parece ser Jonh Holland e John H. Miller (1991) no artigo *Artificial Adaptive Agents in Economic Theory*.

Nos anos 1990 com o surgimento dos softwares StarLogo, SWARM, NetLogo e RePast, *softwares* e linguagens de programação específicas à modelagem computacional baseada em agentes, os ABM's foram fortemente difundidos na comunidade acadêmica, levando ao surgimento de diversos grupos de estudo sobre modelagem baseada em agentes ao redor do mundo, em várias áreas da ciência.

Os ABMs são formados por agentes baseados em regras dinâmicas de interação, e os sistemas nos quais eles interagem podem gerar complexidades como as do mundo real. Estes agentes são inteligentes e têm um objetivo, mas possuem limitações que evitam que

⁴O termo inteligência artificial é creditado a Christopher Langton.

os mesmos cheguem ao seu objetivo instantaneamente. Eles estão situados no espaço e no tempo, pois residem em uma rede virtual e só podem interagir no turno presente. A localização dos agentes, assim como seus objetivos e comportamentos estão codificadas em um algoritmo. Assim, o processo de modelar pode ser descrito como indutivo. O modelador faz suposições para recriar as características da realidade que ele acredita serem relevantes ao tema tratado no modelo. Depois, observa os fenômenos resultantes da interação dos agentes e as estruturas emergentes. Às vezes o modelo encontra um equilíbrio, às vezes ciclos bem definidos, as vezes uma estabilização relativa, mas também é possível que o resultado do sistema seja algo ininteligível.

Para Gilbert e Troitzsch (1999), os ABMs complementam os métodos analíticos tradicionais. Enquanto outros métodos analíticos permitiram aos humanos caracterizar o equilíbrio de sistemas, os ABMs permitem uma possibilidade de geração ou de testes destes equilíbrios. Estas novas possibilidades são vistas como o maior benefício potencial dos ABMs.

Os ABMs, dessa maneira, podem ser usados para uma maior compreensão de sistemas complexos como redes de terrorismo, Internet, sistemas de lei, tráfego de veículos, guerras, mercados, sociedades e seus subgrupos, entre outros diversos sistemas. Além disso, os ABMs podem ser utilizados para identificar momentos apropriados para intervenções, entendendo em que momentos os sistemas geram mais ou menos consequências, dada a intervenção.

Segundo Tesfatsion (2005) ao se projetar um modelo computacional baseado em agentes, o primeiro passo é criar um mundo - através da programação de um *software* - composto por muitos agentes que interagem. Após criar o mundo, é necessário observar o desenvolvimento deste com o passar do tempo.

Os agentes dos modelos computacionais podem ser sociais, biológicos, físicos e etc. (famílias, pessoas, animais, florestas, o clima, governos) sendo que um agente pode ser formado por outros (famílias formadas por pessoas). Cada agente é uma parte encapsulada do *software* que forma o mundo e possui seus próprios dados, assim como suas funções comportamentais para tratar estes dados. Os dados presentes neste mundo computacional podem ser disponíveis para todos (públicos) ou pertencer apenas a certos agentes ou

grupos (privados). Além disso, os agentes podem se comunicar e trocar informações.

Antes de iniciar as simulações o pesquisador especifica a condição inicial da economia, considerando os dados iniciais de cada agente, suas funções comportamentais e o modo como as interações vão ocorrer, oferecendo ao modelo a base microeconômica inicial. Com isso o modelo deve se completar dinamicamente, ou seja, o mesmo tem que ser apto a se desenvolver apenas com as interações dos agentes, sem que o pesquisador precise intervir. Dessa maneira, a questão da relação entre as micro e macro estruturas sociais é tratada, permitindo que a macroeconomia seja gerada verdadeiramente das interações microeconômicas.

Alguns pesquisadores ainda questionam se a substituição do paradigma Walrasiano pelo paradigma da complexidade gera realmente grandes diferenças de resultados. Para demonstrar a relevância deste salto metodológico propomos remontar um modelo já consagrado (Ball e Romer, 1989) que busca explicar os custos gerados pelo possível ajuste nominal incompleto, e rever seus resultados sob esta nova metodologia de modelagem. Tal feito não é importante somente para a demonstração das divergências e convergências entre as diferentes metodologias, mas também para a busca de novas visões e idéias sobre o os custos do ajustamento nominal incompleto.

CAPÍTULO 3

OS PREÇOS SÃO MUITO RÍGIDOS? UMA QUESTÃO QUE PERMANECE.

Tomamos como referência o modelo de mercado de concorrência monopolística desenvolvido por Ball e Romer (1989), que busca fundamentar em termos microeconômicos intervenções governamentais de estabilização.

Segundo Fergusson (1982), o modelo de concorrência monopolística possui as seguintes características: a) cada firma produz um bem diferenciado ⁵; b) este bem é um substituto próximo aos outros bens do mercado; c) cada firma se considera negligenciada pelas firmas rivais; d) o preço é a variável manipulada pela firma na busca de resultados; e) não existem barreiras à entrada e à saída de firmas do mercado; e f) as firmas possuem as mesmas funções de produção e custos, e encaram as mesmas funções de demanda.

Dadas estas características cada empresa encara duas curvas de demanda, conforme ilustra a Figura 1. A primeira (curva dd), demonstra a quantidade demandada do bem i quando a firma i altera seu preço, enquanto as demais firmas mantêm seus preços constantes. A segunda (curva DD), fornece a quantidade demandada quando todos os preços são iguais.

⁵Segundo Eaton e Eaton (199, p. 401), produtos diferenciados devem ser entendidos como bens que satisfazem necessidades semelhantes, mesmo possuindo característica idiossincráticas. Esta diferença entre bens de um mesmo grupo surge pelas diferenças nas preferências dos consumidores, o que leva as empresas a diversificarem seu produto.

Figura 1. As curvas de demanda defrontadas pela firma i no mercado de concorrência monopolística.

Quando o preço da firma i é modificado e todos os outros preços se mantêm constantes, parte dos consumidores mudam a “marca” que consomem. Assim, diferentemente do mercado perfeito, neste mercado podem existir firmas atuando com preços acima do preço de equilíbrio. Quando o preço se iguala ao $preço^*$ as duas curvas de demanda dd e DD se interceptam. Isto ocorre porque quando todos os preços são iguais às quantidades consumidas de cada bem também são iguais, dado que as funções de utilidade dos consumidores são idênticas.

Segundo Nelson (2002, p. 15), no mercado de concorrência monopolística, quando o número de firmas é fixo, o equilíbrio de preços e quantidades é *simétrico*, o seja, os preços e quantidades no equilíbrio de mercado são iguais para todas as firmas. Esse equilíbrio pode ser interpretado como um equilíbrio de Nash de um jogo estático (simultâneo) com N jogadores, que escolhem preços de seus bens sem conhecerem a escolha dos demais participantes do jogo e não se preocuparem com as conseqüências futuras de suas escolhas. O equilíbrio em questão pode, devido às considerações anteriores, ser denominado *equilíbrio de Nash simétrico* do jogo de estabelecimento de preços em um mercado de concorrência monopolística.

No presente capítulo apresentaremos um modelo computacional baseado em agentes de um jogo de formação de preços em uma economia de concorrência monopolística com simetria de preferências e tecnologia, cenário esse comumente utilizado pela literatura novo-keynesiana. Mais precisamente, tomamos como referência a versão com um número finito de formadores de preços apresentada em Ball e Romer (1989).

No citado trabalho, movimentos na demanda agregada apenas afetam o produto quando existe algum tipo de rigidez de preços. Assim, flutuações provenientes da demanda podem ser reduzidas de duas maneiras: por políticas de estabilização ou por um sistema de preços mais flexíveis. Um possível argumento a favor da política de estabilização seria de que esta é relativamente menos custosa do que a flexibilização de preços. Porém, segundo os autores, observando a realidade nota-se que parece muito baixo o custo para que formadores de preços e salários aumentem sua flexibilidade através de reajustes mais freqüentes e maiores indexações. Considerando isso, Ball e Romer concluem que se pode considerar que o governo tem, no máximo, uma pequena vantagem relativa para reduzir as flutuações do produto.

O modelo de Ball e Romer (1989), que se propõe a discutir o quão grande são as externalidades negativas relacionadas à rigidez de preço, chega a três principais conclusões: a) tantos os custos privados como os sociais relacionados com a rigidez são de segunda ordem; b) os custos sociais podem ser relativamente grandes quando comparados aos privados, confirmando a hipótese de que um equilíbrio com rigidez poderia levar a economia a ter flutuações altamente ineficientes no produto; e c) as externalidades negativas da rigidez de preços só são significativas para intervalos de parâmetros não condizentes com a realidade. Será que estas mesmas conclusões serão encontradas sob a perspectiva dos modelos computacionais baseados em agentes?

Na próxima seção expomos a estrutura do modelo de Ball e Romer (1989), como já dito tomado como modelo de referência, bem como a estrutura do modelo computacional baseado em agentes, objeto do presente trabalho. Na segunda seção apresentamos detalhadamente o cálculo do equilíbrio de Nash simétrico do jogo de estabelecimento de preços do modelo de Ball e Romer (1989), que será útil como referencial de comparação das propriedades emergentes obtidas de várias simulações computacionais do modelo baseado

em agentes, que também serão apresentadas nessa seção. Finalmente, na terceira seção fazemos um exercício análogo ao proposto por Ball e Romer (1989), comparando os custos sociais e privados da rigidez de preços.

3.1 Estrutura e funcionamento do modelo

Assim como o modelo de Ball e Romer (1989)⁶, o modelo computacional baseado em agentes que propomos considera uma economia formada por produtores-consumidores⁷ que vendem os bens produzidos com seu próprio trabalho. Ou seja, o foco está na rigidez de preços e não na de salários. Mais precisamente, a economia, como no modelo de referência, é composta por N agentes e cada um deles produz um bem diferente, vende-o e usa o dinheiro recebido para comprar bens de todos os demais agentes, tomando seus preços como dados.

A utilidade do agente i é dada por (Ball e Romer, 1989, p. 509):

$$U_i = C_i - \left(\frac{\epsilon - 1}{\gamma \epsilon} \right) L_i^\gamma - z D_i, \quad (1)$$

sendo

$$C_i = N \left[\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N C_{ij}^{(\epsilon-1)/\epsilon} \right]^{\epsilon/(\epsilon-1)}, \quad (2)$$

o índice de consumo do agente i , C_{ij} a quantidade consumida pelo agente i do bem produzido pelo agente j , L_i a oferta de trabalho do agente i , z uma constante positiva que simboliza o custo de menu do agente i , D_i uma variável *dummy*, igual a um quando o agente i atualiza seu preço nominal ou zero caso contrário, ϵ a elasticidade de substituição entre quaisquer dois bens ($\epsilon > 1$) e γ o parâmetro que mede a extensão da desutilidade marginal do trabalho ($\gamma > 1$).

A função de produção do agente i é dada por (Ball e Romer, 1989, p. 510):

$$Y_i = L_i, \quad (3)$$

⁶Gostaríamos de salientar que tal modelo é uma simplificação do modelo de Blanchard e Kiyotaki (1987).

⁷Na literatura é comum à referência a “pequenos agricultores” (“*yeoman farmers*”) como produtores-consumidores.

sendo Y_i a produção do agente i .

As semelhanças entre o modelo de referência e o modelo computacional baseado em agentes estão nas preferências e na tecnologia de produção dos agentes, que formam os fundamentos do jogo de estabelecimento de preços em um mercado de concorrência monopolística. Todavia, as similitudes terminam aí, pois cada modelo segue uma metodologia de análise distinta. O modelo de Ball e Romer (1989) usa o conceito de equilíbrio de Nash e faz sua análise supondo que a economia está em equilíbrio, enquanto nosso modelo não pressupõe equilíbrio e faz a análise fora dele⁸.

Em nosso modelo computacional os resultados emergem dos processos de escolhas individuais e das relações entre os agentes. Sendo assim, cabe descrever as regras comportamentais dos agentes e a estrutura de interação na qual eles estão inseridos. Primeiramente, além dos parâmetros N ($N \in \mathbf{N}^*$), ϵ ($\epsilon > 1$), γ ($\gamma > 1$) e z , vamos definir outros dois parâmetros que o modelo utilizará para criar a economia, a saber, o estoque total de moeda W ($W > 0$) e o parâmetro *seed*. Em diversos momentos, números aleatórios serão utilizados no modelo (ao escolher um agente aleatoriamente, ao definir uma condição inicial de preço, trabalho, etc) e o valor *seed* orientará a formação destes números⁹. Tendo

⁸Diversas suposições simplificadoras, necessárias à resolução matemática do modelo, poderiam ser alteradas na modelagem computacional baseada em agentes, aumentando assim o grau de realismo do modelo. Os agentes poderiam diferir nas funções de utilidade e de produção, nas condições iniciais, nos valores de γ , poderíamos gerar valores ϵ para cada par de bens tornando mais realista a elasticidade de substituição, entre outros pontos que caracterizariam melhor a heterogeneidade existente. Entretanto, procedendo dessa maneira, as comparações entre as duas metodologias seriam inviabilizadas.

Cabe salientar, que mesmo mantendo as simplificações supracitadas na modelagem computacional baseada em agentes, a suposição do agente representativo não existe. Isso porque no modelo computacional cada agente poderá tomar efetivamente decisões distintas sobre produção, definição de preços e consumo, o que gerará um sistema assimétrico e heterogêneo.

⁹Os números aleatórios usados no modelo são chamados de pseudo-aleatórios (*pseudo-random*), algo típico da programação computacional. Isto significa que os números parecem aleatórios e possuem distribuição independente e identicamente distribuída, porém são gerados por um processo determinístico. Determinístico, pois obtém os mesmos resultados toda vez que o modelo é simulado, caso a chamada semente (*seed*) tenha sido mantida. No contexto de modelagem científica, números pseudo-aleatórios são normalmente desejados, posto que eles permitem que experimentos sejam reproduzidos identicamente diversas vezes, criando a possibilidade da verificação de resultados obtidos. Em se tratando de ciências econômicas, os números pseudo-aleatórios garantem o chamado *ceteris paribus*, ao recriarem em toda simulação o mesmo ambiente. Para a criação de números pseudo-aleatórios o gerador de números aleatórios é iniciado com um valor semente, que pode ser qualquer número inteiro, e recebendo a semente ele sempre gerará a mesma sequência de números aleatórios, para esta semente. O gerador utilizado neste trabalho é conhecido como Mersenne Twister e foi desenvolvido por Matsumoto e Nishimura (1998). O gerador por eles desenvolvido corrige erros de outros diversos geradores mais antigos e provém uma geração rápida e de qualidade muita alta, dadas as classificações de algoritmos.

recebido os parâmetros, dentro de seus intervalos possíveis, o modelo cria uma economia com N agentes que possuem inicialmente um estoque de moeda igual a W/N , ou seja, todos os agente iniciam com a mesma quantidade de moeda.

Com a economia criada, cada agente é chamado, em ordem aleatória, a definir seu preço e produzir. No primeiro passo de cada simulação ($t = 1$) o preço de cada agente é definido como um valor real aleatório entre 0 e W e suas horas trabalhadas como um valor real aleatório entre 0 e 24.

Os preços só serão alterados nos passos ímpares e as horas de trabalho nos passos pares, isso para que o agente possa distinguir de onde vem sua variação de bem-estar. Mesmo que sua variação de bem-estar não venha completamente de sua variação de preço ou de horas trabalhadas, dado que uma mudança no ambiente econômico influi no bem-estar, a influência de suas atitudes é forte o suficiente para guiá-lo, mesmo em um ambiente relativamente instável.

Em nosso modelo os agentes seguem regras simples de comportamento ao definir seus preços e suas horas de trabalho, não sendo caracterizados por um comportamento otimizador, embora busquem melhorar seu bem-estar (sua utilidade) se adaptando constantemente ao ambiente macroeconômico que co-evolui com esses N microprocessos adaptativos. Escolhemos representar os agentes desta maneira pelo simples fato deste formato ser o suficiente para garantir a formação e estruturação de um mercado virtual com níveis hierárquicos no qual os agentes interagem. Além do que, regras comportamentais simples fazem com que o agente tome suas decisões baseado na situação presente, sem considerar suas memórias de passado ou suas expectativas de futuro, o que pode ser útil em ambientes econômicos caracterizados por flutuações imprevisíveis.

Tanto para definir preços como para definir horas de trabalho os agentes seguirão a seguinte regra comportamental. Designemos por agente k em um determinado passo $t > 1$ qualquer o detentor da maior utilidade do passo anterior $t - 1$. Caso o agente i seja esse agente ($i = k$), ele buscará tornar seu resultado ainda melhor fazendo a seguinte verificação: se ele aumentou (diminuiu) a variável de decisão X_i (que pode ser o preço P_i ou as horas de trabalho L_i) na última alteração e isso levou a um aumento em sua utilidade U_i , ele aumentará (diminuirá) novamente X_i . Caso o aumento (diminuição)

tenha gerado redução de U_i , o agente diminuirá (aumentará) X_i buscando recuperação. Note que apenas um agente por passo utilizará esta regra comportamental, o agente k . A árvore de decisão do agente k esta representada nas Figura 2 para $X_i = L_i$ e na Figura 3 para $X_i = P_i$.

Note que o acréscimo ou decréscimo de qualquer um das N quantidades de trabalho que por ventura ocorrer será sempre igual a 0,1 horas. Analogamente, a partir do terceiro passo qualquer um dos N preços que variar, aumentará ou diminuirá $W/2N$ unidades monetárias. Tais escolhas foram feitas por três motivos: 1) para garantir que existissem escolhas de preços e horas de trabalho superiores e inferiores aos valores do equilíbrio estático, 2) para que a velocidade de modificação das duas variáveis fossem suficientemente altas para que o modelo tenha a possibilidade de encontrar um estado estável em um número plausível de passos e 3) para que a velocidade de modificação das duas variáveis fossem suficientemente baixas para garantir que modelo não seja extremamente instável.

Figura 2. A regra comportamental na definição das horas de trabalho do agente k .

Figura 3. A regra comportamental na definição dos preços do agente k

Caso o agente i não seja o detentor da maior utilidade no passo anterior, ele simplesmente verificará se X_i é maior que X_k . Caso seja maior, o agente i reduzirá X_i , caso seja menor o agente i aumentará X_i e, finalmente, caso seja igual, manterá constante o valor

de X_i . A árvore de decisão do agente $i \neq k$ esta resumida nas Figura 4 para $X_i = L_i$ e na Figura 5 para $X_i = P_i$.

Figura 4. A regra comportamental na definição das horas de trabalho do agente i , quando $i \neq k$.

Figura 5. A regra comportamental na definição dos preços do agente i , quando $i \neq k$.

As regras comportamentais descritas são usadas para definir P_i a partir do terceiro passo ($t = 3$) e L_i a partir do quarto passo ($t = 4$). Cabe esclarecer, que no primeiro e no segundo passo de simulação há uma peculiaridade. Somente nesses passos tanto as horas de trabalho como os preços dos agentes serão alterados, ambos de maneira aleatória. Os preços e horas de trabalho são redefinidos aleatoriamente no segundo passo para que o agente k tenha um segundo ponto de referência (além daquele gerado aleatoriamente no primeiro passo de simulação), podendo a partir do terceiro passo decidir se deve aumentar ou diminuir seu preço, aplicando a regra comportamental das Figuras 2 e 3.

Considerando a lógica subjacente à Figura 1 (curvas de demanda dd e DD), a regra comportamental de “siga o mestre” que acabamos de apresentar formaliza a hipótese de que quando um agente qualquer estiver em pior condição que o agente k , este saberá que ao se aproximar do estado de k tenderá a tomar parte de seu mercado, dado que todas as funções de utilidade são idênticas.

Note ainda, que sempre existirá ao menos um agente insatisfeito com sua utilidade, o agente k , mas isso não impede o sistema de estabilizar. Se existir um estado de preços e horas de trabalho que seja um ótimo absoluto do sistema, todos agentes chegarão nele

e ficarão lá, pois quando o agente k se arriscar a buscar melhores resultados perderá utilidade, deixando de ser k e retornando ao grupo no próximo passo possível. Esta insatisfação persistente do agente k é importante, pois garante que o modelo não estabilize em estados ótimos falsos, caso estes existam.

Tendo os preços e as produções definidas, cada agente é chamado, em ordem aleatória, para comprar bens de outros agentes. Assim, cada agente encontrará o bem disponível que lhe dá o maior aumento de utilidade por unidade monetária e, seguindo a árvore de decisão na Figura 6, comprará este produto.

Figura 6. A regra comportamental do processo de compra.

Os agentes continuarão sendo chamados para o processo de compra até que todos os bens da economia se esgotem, ou até que não exista mais dinheiro disponível aos agentes compradores.

Com o fim dos processos de compra em cada passo da simulação, o modelo calcula duas variáveis macroeconômicas chaves presentes no modelo de referência, a saber, o consumo médio da economia C e o nível geral de preços da economia P , definidos formalmente como segue:

$$C = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N C_j, \quad (4)$$

e

$$P = \left[\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N P_j^{1-\epsilon} \right]^{1/(1-\epsilon)}. \quad (5)$$

Além dessas duas variáveis, o modelo calculará a variância dos preços ($varP$), a variância das cestas de consumos ($varC$), a produção média ($\bar{Y}$), a variância das quantidades produzidas ($varY$), a utilidade média dos agentes ($\bar{U}$), a variância das utilidades

($varU$), a demanda média pelos produtos ($\overline{Y^D}$), a variância das demandas ($varY^D$) e a variância das quantidades de moeda ($varM$). Em cada passo da simulação, as referidas estatísticas agregadas serão obtidas com base nas seguintes fórmulas:

$$varP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - \overline{P})^2, \quad (6)$$

com

$$\overline{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i, \quad (7)$$

$$varC = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_i - \overline{C})^2, \quad (8)$$

com

$$\overline{C} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i, \quad (9)$$

$$varY = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - \overline{Y})^2, \quad (10)$$

com

$$\overline{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i, \quad (11)$$

$$varM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - (W/N))^2, \quad (12)$$

com M_i representando a quantidade de moeda em poder do agente i no início do passo,

$$varU = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (U_i - \overline{U})^2, \quad (13)$$

com

$$\overline{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i, \quad (14)$$

$$varY^D = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i^D - \overline{Y^D})^2, \quad (15)$$

com Y_i^D representando a quantidade total demandada do bem i e com

$$\overline{Y^D} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i^D. \quad (16)$$

Além das estatísticas macroeconômicas anteriormente estabelecidas, em cada passo da simulação o modelo marca o agente que alcançou a maior utilidade, para que este seja referência aos outros no próximo passo.

Resumindo, em cada passo par da simulação os agentes ajustam suas horas de trabalho, produzem trabalhando essas horas e comercializam os bens aos preços estabelecidos no período ímpar anterior. Por sua vez, a partir do terceiro passo, em cada passo ímpar os agentes ajustam seus preços, produzem com base nas horas de trabalho definidas no passo par anterior e comercializam os bens aos novos preços. O modelo fará com que os agentes sigam esta dinâmica de definir alternadamente horas de trabalho e preços, produzir e comprar pelo número de passos pré-definido pelo pesquisador. A Figura 7 apresenta um fluxograma que sintetiza o funcionamento do modelo computacional baseado em agentes do jogo de estabelecimento de preços em uma economia de concorrência monopolística.

Figura 7. Um fluxograma representando o funcionamento do modelo computacional.

3.2 O equilíbrio de Nash simétrico e características emergentes

Antes de relatarmos algumas propriedades macroeconômicas emergentes geradas pelo nosso modelo computacional baseado em agentes, iremos apresentar o equilíbrio de Nash simétrico do modelo de Ball e Romer (1989), que será utilizado como referencial na análise das propriedades emergentes.

Seguindo a estratégia de solução em dois estágios de Blanchard e Kiyotaki (1987), primeiramente iremos determinar a cesta de consumo ótima $(C_{i1}, \dots, C_{iN})$ do i -ésimo

agente, para um dado vetor de preços $(P_{i1}, \dots, P_{iN})$ e dada renda nominal I_i e, posteriormente, determinar o preço ótimo de cada agente i dados os demais $N - 1$ preços.

Passemos, então, para o primeiro estágio. Tomando os preços e a renda nominal como variáveis exógenas¹⁰, o agente i resolve o seguinte problema de maximização condicionada:

$$\text{Max}_{\{C_{ij}\}_{j=1}^N} N \left[\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N C_{ij}^{(\epsilon-1)/\epsilon} \right]^{\epsilon/(\epsilon-1)} \quad \text{sujeito a} \quad \sum_{j=1}^N P_j C_{ij} = I_i. \quad (17)$$

As condições de primeira ordem desse problema de escolha são:

$$\sum_{j=1}^N P_j C_{ij} = I_i, \quad (18)$$

$$\mu = N^{1/(1-\epsilon)} \left(\sum_{j=1}^N C_{ij}^{(\epsilon-1)/\epsilon} \right) \frac{C_{ij}^{-1/\epsilon}}{P_j}, \quad \text{com } j = 1, 2, \dots, N, \quad (19)$$

sendo μ o multiplicador de Lagrange associado à restrição orçamentária (18).

Considerando as últimas N condições em (19), podemos estabelecer para qualquer agente i a seguinte igualdade entre dois bens quaisquer k e ℓ :

$$\frac{C_{ik}^{-1/\epsilon}}{P_k} = \frac{C_{i\ell}^{-1/\epsilon}}{P_\ell}, \quad (20)$$

da qual decorre:

$$P_k^{1-\epsilon} = P_\ell^{1-\epsilon} C_{i\ell}^{(1-\epsilon)/\epsilon} C_{ik}^{(\epsilon-1)/\epsilon}, \quad \text{com } \ell = 1, 2, \dots, N. \quad (21)$$

Agregando essas N condições e multiplicando ambos os lados dos somatórios por $1/N$ obtemos:

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N P_k^{1-\epsilon} = P_\ell^{1-\epsilon} C_{i\ell}^{(1-\epsilon)/\epsilon} \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N C_{ik}^{(\epsilon-1)/\epsilon}, \quad \text{sendo } k, \ell = 1, 2, \dots, N. \quad (22)$$

¹⁰A renda nominal do agente i é dada por $I_i = P_i Y_i$, sendo Y_i a produção do bem i . Assim, tomar a renda nominal como exógena é considerar exógenos o preço do bem i e, dada a função de produção, a quantidade de trabalho empregada por esse agente.

Isolando o preço do ℓ -ésimo bem:

$$P_\ell = C_{i\ell}^{-1/\epsilon} \left[\frac{1}{N} \left(\sum_{k=1}^N C_{ik}^{(\epsilon-1)/\epsilon} \right) \right]^{1/(\epsilon-1)} P, \quad (23)$$

sendo P o índice geral de preços definido em (5) na seção anterior¹¹. Usando o índice de consumo do agente i , definido em (2), a expressão (23) pode ser reescrita como segue:

$$P_\ell = C_{i\ell}^{-1/\epsilon} \left(\frac{C_i}{N} \right)^{1/\epsilon} P. \quad (24)$$

Inserindo (24) na restrição orçamentária (18) obtemos o índice de consumo máximo do agente i :

$$C_i = \frac{I_i}{P}. \quad (25)$$

Substituindo (25) em (24), obtemos a cesta de consumo ótima do agente i , ou seja, o consumo maximizador de utilidade do agente i de cada bem j :

$$C_{ij} = \frac{1}{P_j^\epsilon P^{1-\epsilon}} \frac{I_i}{N}, \quad \text{com } j = 1, 2, \dots, N. \quad (26)$$

O consumo ótimo do agente i de cada bem j depende inversamente do preço do j -ésimo bem, bem como do índice geral de preços. Cabe salientar, que cada agente i aloca uma parcela igual de sua renda nominal na compra de cada bem.

Passemos agora para o segundo estágio da determinação da escolha ótima dos agentes. Como já destacado, a renda nominal de cada agente não é exógena, pois temos um modelo de equilíbrio geral com N mercados. Ou seja, a renda nominal do agente i dependerá do preço cobrado pelo bem i e da quantidade vendida desse bem, que nada mais é do que a demanda de mercado (agregada) do bem i , obtida somando a demanda pelo bem i de cada agente j , ou seja:

$$Y_i^D \equiv \sum_{j=1}^N C_{ij} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{P_j^\epsilon P^{1-\epsilon}} \frac{I_i}{N} = \frac{1}{P_j^\epsilon P^{1-\epsilon}} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N I_j. \quad (27)$$

¹¹A equação (6) de Ball e Romer (1989, p. 510).

Por (25) temos que $I_j = PC_j$, ou seja, cada agente j gasta P para comprar uma unidade de consumo C_j , tal que (27) transforma-se em:

$$Y_i^D = \frac{1}{P_i^\epsilon P^\epsilon} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N C_j. \quad (28)$$

Dada a definição de consumo médio em (4)¹², chegamos à demanda pelo bem do agente i normalizada pelo consumo médio¹³:

$$\frac{Y_i^D}{C} = \left(\frac{P_i}{P} \right)^{-\epsilon}. \quad (29)$$

Como a renda nominal do agente i é igual a sua receita total, ou seja, $I_i = P_i Y_i$, usando (25) obtemos¹⁴:

$$C_i = \frac{P_i Y_i}{P}. \quad (30)$$

Suponha que os N mercados estejam em equilíbrio, ou seja, que a produção de cada agente i é completamente vendida, $Y_i^D = Y_i$. Portanto, inserindo a referida condição de equilíbrio em (29), a produção e, dada a função de produção definida em (3), a quantidade de trabalho do i -ésimo agente podem ser expressas como função dos preços e do consumo médio:

$$Y_i = L_i = \left(\frac{P_i}{P} \right)^{-\epsilon} C. \quad (31)$$

Por sua vez, substituindo (31) em (30) podemos também expressar o índice de consumo do agente i como função dos preços e do consumo médio:

$$C_i = \left(\frac{P_i}{P} \right)^{1-\epsilon} C \quad (32)$$

.

Ball e Romer (1989, p. 511) introduzem a moeda no seu modelo de equilíbrio geral estabelecendo a demanda de moeda diretamente, ou seja, supondo que $M^D = PC$. Assim,

¹²Equação (5) de Ball e Romer (1989, p. 510).

¹³Equação (4) de Ball e Romer (1989, p. 510).

¹⁴Equação (7) de Ball e Romer (1989, p. 510).

supondo equilíbrio no mercado monetário ($M^D = M$), chegamos a:

$$C = \frac{M}{P}, \quad (33)$$

sendo M o estoque nominal de moeda da economia¹⁵.

Finalmente, substituindo (33) em (31) e (32) e as expressões daí resultantes na função utilidade, apresentada em (1), temos a função-objetivo do problema de otimização não condicionada do segundo estágio, a saber:

$$U_i = \frac{M}{P} \left(\frac{P_i}{P} \right)^{1-\epsilon} - \frac{\epsilon-1}{\gamma\epsilon} \left(\frac{M}{P} \right)^\gamma \left(\frac{P_i}{P} \right)^{-\gamma\epsilon} - zD_i. \quad (34)$$

Nesse segundo estágio, o agente i escolhe o preço P_i que maximiza (34), na qual já está embutida a decisão ótima de consumo, $C_i = \frac{M}{P} \left(\frac{P_i}{P} \right)^{1-\epsilon}$, e da oferta de trabalho, $L_i = \left(\frac{M}{P} \right)^\gamma \left(\frac{P_i}{P} \right)^{-\gamma\epsilon}$.

A condição de primeira ordem relativa à maximização de (34) tendo como variável de escolha P_i é dada por:

$$\frac{\partial U_i}{\partial P_i} = (1-\epsilon) \frac{M}{P} \left(\frac{P_i}{P} \right)^{-\epsilon} \frac{1}{P} + (\epsilon-1) \left(\frac{M}{P} \right)^\gamma \left(\frac{P_i}{P} \right)^{-\gamma\epsilon-1} \frac{1}{P} = 0, \quad (35)$$

da qual decorre a escolha ótima do preço do bem i dados os demais $N-1$ preços e o estoque nominal de moeda:

$$P_i^* = P^\phi M^{1-\phi}, \quad \text{com} \quad \phi = \frac{(\epsilon-1)(\gamma-1)+1}{\epsilon(\gamma-1)+1}, \quad (36)$$

sendo P_i^* o valor de P_i que satisfaz a condição (35).

Se interpretarmos o modelo em análise como um modelo de jogo não-cooperativo estático (simultâneo) com N jogadores, a função (36) é a função de reação (*best-reply function*) do jogador i , que escolhe seu preço P_i sem conhecer as escolhas dos demais $N-1$ jogadores. Passemos, então, à análise do equilíbrio de Nash desse jogo estático.

O equilíbrio de Nash simétrico do modelo ocorre quando $P_i = P$ para todo $i =$

¹⁵Dados os resultados em equilíbrio, que serão apresentados à frente, M também pode ser tratado como a demanda por moeda do agente representativo.

$1, 2, \dots, N$. Então, de (36) concluímos que $P_i = M$. Com isso concluímos também que $P = M$, $C = 1$ (de (33)), $C_i = 1$ (de (32)), $Y_i = 1$ (de (31)), $\bar{Y} = 1$ (de (11)) e $\bar{Y}^D = 1$ (da condição de *market cleaning*).

Caracterizado o equilíbrio de Nash simétrico, passemos às propriedades emergentes. Para gerá-las realizamos cem simulações de dez mil passos¹⁶. Nessas simulações tomamos as seguintes condições: $N = 50$ ¹⁷, $W = 50$, $seed = 7$, γ e ϵ com valores aleatórios entre 1 e 50. Na análise dinâmica quando apontamos um valor para P , $varP$, C , $varC$, $\bar{Y}$, $varY$, $varM$, $\bar{U}$, U_k , $varU$, $\bar{Y}^D$ e $varY^D$ nos referimos à média desta variável nos últimos cem passos simulados, ou seja, dos passos 9900 até 9999.

O equilíbrio de Nash simétrico do modelo estático pode ser caracterizado, em nosso modelo computacional, como uma situação permanente na qual as variáveis de estado se tornam relativamente estáveis (com baixa variância) em torno de uma média (que pode não ser igual ao resultado do modelo estático). De todas simulações realizadas emergiram estados de estabilidade de fácil identificação. A título de ilustração, apresentamos nas Figuras 8 e 9 os resultados dos dez mil passos de uma simulação.

Figura 8. Um exemplo de resultado de simulação. Os valores do nível de preços nos dez mil passos de uma simulação com $\epsilon = 14.59052282$ e $\gamma = 33.12724454$.

¹⁶Dez mil passos foram mais que suficientes para nossa análise.

¹⁷O número 50 foi escolhido em um teste simples de robustez. Como 100 foi o número máximo de agentes suportado pelo *hardware* disponível à pesquisa, verificamos que os resultados emergentes se mantinham semelhantes nas simulações com 100 e 50 agentes. Como a simulação de dez mil passos demora em torno de dez horas com cem agentes e uma hora com cinquenta, a segunda opção foi escolhida.

Figura 9. Um exemplo de resultado de simulação. Os valores do produto médio nos dez mil passos de uma simulação com $\epsilon = 14.59052282$ e $\gamma = 33.12724454$.

Como o dinheiro guardado não gera utilidade e como o mesmo se mantém circulando durante o processo de comercialização, era de se esperar que a produção total de cada passo fosse consumida. De fato, em nenhum passo de nenhuma simulação ocorreu formação de estoques, ou seja, parte não vendida da produção.

Tanto no resultado estático como no dinâmico a média da quantidade de moeda em poder dos agentes ($\overline{M}$) é igual a W/N , e não poderia ser de outra forma, porém no modelo dinâmico nenhum resultado homogêneo foi encontrado ($varM$ foi diferente de zero em todas simulações). Na Figura 10 temos os resultados de $varM$.

Figura 10. Os cem valores da variância da quantidade de moeda encontrados nas simulações.

Mesmo que a homogeneidade não ocorra em nenhum caso, note que os valores de $varM$, que tem média igual a 1,15, são baixos demonstrando que os agentes tinham quantidades parecidas de moedas nos últimos cem turnos da simulação.

Como $W = 50$ e $N = 50$, $\overline{M} = 1$ e dada à configuração, no modelo estático teríamos $P = 1$. A média dos resultados das cem simulações revelou um P médio de 1,17, um valor bem próximo do valor de P estático. Nas Figuras 11 e 12 temos os resultados de P e $varP$.

Figura 11. Os cem valores do nível de preços encontrados nas simulações.

Figura 12. Os cem valores da variância dos preços encontrados nas simulações.

Os valores de P dinâmico guardam uma relação decrescente com γ e ϵ , diferentemente do valor de P estático, que independe dos parâmetros. As influências dos parâmetros no nível de preços deve ter suas raízes na influência de γ e ϵ sobre $\bar{Y}$ e C . A variância de P se mostrou bem pequena (média de 0,087), revelando que nos momentos de estabilidade os preços dos agentes se tornam muito próximos.

Em nenhuma simulação $\bar{Y}$ ou C chegaram a um, seus valores no equilíbrio estático ($Y^* = C^* = 1$). A média dos resultados de $\bar{Y}$ foi 0,566 enquanto a de C foi 0,424 e em todas simulações $\bar{Y}$ foi maior que C . Tal diferença pode ser explicada pela fórmula de C e pelo valor de ϵ . Quanto maior a diferença nas quantidades consumidas das mercadorias que formam C , maior é a perda do agente, dado o formato de C . Caso todas as quantidades consumidas fossem idênticas, algo não encontrado nas simulações, $\bar{Y}$ seria igual a C . Outro ponto é que, com o consumo de quantidades distintas, quanto menor ϵ maior a diferença entre $\bar{Y}$ e C , também devido ao formato de C ¹⁸. Dessa maneira os valores de ϵ explicam também o porque dos valores de $\bar{Y}$ serem menores que um. Dado que o equilíbrio dinâmico é caracterizado pela presença de heterogeneidade, $\bar{Y}$ só seria igual a C se ϵ tendesse ao infinito. Como C é à base da utilidade dos agentes e como $C < \bar{Y}$, o incentivo a trabalhar diminui no modelo dinâmico. Note que devido à homogeneidade, no modelo estático C e

¹⁸Precisamos manter em mente que as equações do modelo de Ball e Romer (1989) foram escolhidas para um modelo que supunha um equilíbrio de Nash simétrico como solução, então não existia preocupação com relação ao funcionamento das equações fora do equilíbrio.

$\bar{Y}$ não dependem de ϵ . Nas Figuras 13, 14, 15 e 16 temos respectivamente os resultados de $\bar{Y}$, $varY$, C e $varC$.

Figura 13. Os cem valores do produto médio encontrados nas simulações.

Figura 14. Os cem valores da variância do produto encontrados nas simulações.

Figura 15. Os cem valores do consumo médio encontrados nas simulações.

Figura 16. Os cem valores da variância do consumo encontrados nas simulações.

Os baixos valores de $varY$ e $varC$ revelam condições de produção e consumo bem próximas entre os agentes.

Fechando a presente seção, vamos comparar a utilidade indireta dos agentes obtida no equilíbrio de Nash simétrico com o padrão emergente das utilidades no modelo computacional.

Tratemos, primeiramente, da utilidade indireta. Considerando que a escolha ótima (36) pode ser reescrita como:

$$\frac{P_i}{P} = \frac{P_i}{P_i^*} \left(\frac{M}{P} \right)^\pi, \quad (37)$$

a função utilidade indireta do agente i é obtida substituindo (37) na função utilidade (34):

$$U_i = \left(\frac{M}{P}\right)^{\gamma(1-\epsilon\pi)} \left[\left(\frac{P_i}{P_i^*}\right)^{1-\epsilon} - \frac{\epsilon-1}{\gamma\epsilon} \left(\frac{P_i}{P_i^*}\right)^{-\gamma\epsilon} \right] - zD_i \equiv V\left(\frac{M}{P}, \frac{P_i}{P_i^*}\right) - zD_i. \quad (38)$$

Note que no modelo de referência, devido à simetria do equilíbrio de Nash, todos os agentes apresentam a mesma utilidade indireta (38). Em nosso modelo computacional baseado em agentes uma forma de computar uma medida de bem-estar comparável à utilidade indireta é calcular a utilidade média, denotada por $\bar{U}$, dos agentes depois que a dinâmica estabilizou, ou seja, dos últimos cem passos de cada simulação. Em todas simulações $\bar{U}$ ficou abaixo da utilidade indireta do equilíbrio de Nash, dada por (38) e que passamos a denotar por U^* para não sobrecarregar a notação. Parte pelas diferenças entre $\bar{Y}^*$ e $\bar{Y}$ e entre C^* e C , e parte pela desigualdade entre os agentes.

Na maioria das simulações U_k se revelou maior que U^* , o que mostra que mesmo em uma economia formada por agentes iguais, com oportunidades semelhantes, existem desigualdades formadas pela dinâmica econômica. Assim como para todas as outras variáveis analisadas, não existiu estabilidade homogênea com relação à $\bar{U}$. Nas Figuras 17, 18 e 19 temos, respectivamente, os resultados de $\bar{U}$ comparado a U^* , de U_k comparado a U^* e de $varU$.

Figura 17. Os cem valores da utilidade média encontrados nas simulações, comparados aos valores esperados da utilidade indireta estática.

Figura 18. Os cem valores da utilidade do agente k encontrados nas simulações, comparados aos valores esperados da utilidade indireta estática.

Figura 19. Os cem valores da variância da utilidade encontrados nas simulações.

3.3 Custos privados e sociais da rigidez nominal em ambos modelos

Para avaliar o impacto em termos de bem-estar da rigidez nominal, Ball e Romer (1989) introduzem distúrbios nominais, supondo que o estoque nominal de moeda M é uma variável aleatória com média um. Ademais, os autores supõem que os agentes precisam em um dado período decidir se pagam ou não o custo de menu antes de conhecerem

a realização de M naquele período. Se um agente paga o custo de menu seu preço é atualizado proporcionalmente a M , caso não pague seu preço continuará o mesmo.

As premissas anteriores são incorporadas em nosso modelo computacional da seguinte maneira. A cada passo, o estoque total de moeda W será redefinido aleatoriamente (com base em uma distribuição normal) como um valor entre 0 e $2N$. Assim, a esperança de W é igual a N , fazendo com que a esperança de M , aqui interpretado como o estoque individual de moeda, seja igual a 1. Ball e Romer (1989) demonstram que é irrelevante o fato da decisão de pagar ou não o custo de menu ocorrer antes ou depois de M ser definido. Em nosso modelo computacional esse ponto também é irrelevante, dado que este custo de menu do modelo de Ball e Romer (1989) é na verdade um custo de indexação, fazendo com que o preço de cada agente esteja em função de W . Logo, tanto no modelo computacional quanto no modelo de referência, quando um agente pagar o custo de menu terá seu preço indexado ao estoque monetário.

Figura 20. Um fluxograma que resume o funcionamento do modelo computacional¹⁹.

Para a construção de resultados, as simulações tiveram que ser agrupadas em blocos que contém $N + 2$ simulações cada. As $N + 2$ simulações de cada bloco são compostas das seguintes configurações: 1) uma simulação com todos preços rígidos, 2) uma simulação com todos os preços flexíveis e 3) N simulações nas quais um agente tem preço flexível enquanto todos os outros mantêm os preços rígidos (uma para cada agente). Mais a frente ficará claro o porquê da necessidade das simulações. Cada bloco possui um único valor de γ e um único valor de ϵ , definidos como números reais aleatórios entre 1 e 200. Em

¹⁹O símbolo l (presente em U_l) representa o agente que atualiza preços quando todos outros mantêm seus preços rígidos. Nas simulações em que todos possuem preços rígidos e nas simulações em que todos possuem preços flexíveis, l representa todos agentes

todos os blocos as simulações passaram por dez mil passos com $N = 50$ e $seed = 7$. Os resultados que serão apresentados a seguir vieram de 52 blocos simulados e analisados.

Note que os agentes com preços rígidos não mantêm seus preços congelados durante toda simulação. Os agentes com preços rígidos continuam buscando, ao longo da simulação, um preço que aumente sua utilidade, porém, estes ignoram os choques monetários não indexando seus preços ao mesmo, algo realizado pelos agentes com preços flexíveis. Assim, reforçamos que ter preços fixos em nosso modelo significa simplesmente não manter o preço indexado ao estoque monetário.

3.3.1 Resultados com preços rígidos

Ball e Romer (1989), primeiramente, derivam o P do equilíbrio estático quando todos os preços são rígidos em um nível P_0 . Segundo os referidos autores, o problema encontrado pelos agentes é escolher seu preço que maximiza sua utilidade esperada considerando P_0 como fixo. Assim, a condição de primeira ordem pode ser descrita como:

$$E \left[V_2 \left(\frac{M}{P_0}, \frac{P_i}{P_i^*} \right) \frac{1}{P_i^*} \right] = 0, \quad (39)$$

onde V_2 denota a derivada parcial de V com relação à P_i/P_i^* . Como em (37), P_i/P_i^* é representado em termos de M/P_0 e P_i/P_0 e como o equilíbrio simétrico requer que $P_i = P_0$, podemos reescrever (39) como:

$$E \left[V_2 \left(\frac{M}{P_0}, \left(\frac{M}{P_0} \right)^{-\pi} \right) \left(\frac{M}{P_0} \right)^{-\pi} \right] = 0. \quad (40)$$

Realizando uma aproximação de Taylor de segunda ordem de (40) em torno de $M/P_0 = 1$ (o equilíbrio quando desconsiderado o custo de menu) e usando o fato de que $E[M] = 1$ encontramos que:

$$1/P_0 \simeq 1 - (\gamma/2)\sigma_M^2. \quad (41)$$

Da aproximação (41), segue que $P_0 > 1$. Como a produção se iguala a M/P e como $E[M] = 1$, quando os preços são rígidos o nível médio do produto será menor que o

respectivo nível médio no equilíbrio com preços flexíveis, ou seja, $\bar{Y} < 1$.

Em nosso modelo a média dos valores de P_0 (nível de preços quando os mesmos não são indexados ao estoque de moeda), encontrados é igual a 2,02. Os resultados de P_0 estão demonstrados na Figura 21.

Figura 21. Os 52 valores do nível de preços encontrados nas simulações com rigidez total.

Em 71% das simulações com rigidez total obteve-se $P_0 > 1$, algo que ocorre em todos resultados estáticos esperados, porém, mesmo antes dos choques monetários o nível de preços no modelo dinâmico se mostrou maior que um em algumas simulações. Tanto γ quanto ϵ não demonstram influência sobre P_0 dinâmico.

Analisemos então a produção média da economia. O valor médio de $\bar{Y}$ nos resultados das simulações nas quais todos tinham preços rígidos é igual a 0,61. Em todas as simulações com rigidez total $\bar{Y}$ foi menor que um, mas este resultado já era esperado dado que mesmo no equilíbrio sem choques monetários $\bar{Y}$ sempre foi menor que um. Os resultados de $\bar{Y}$ das simulações com rigidez total estão dispostos na Figura 22.

Figura 22. Os 52 valores do produto médio encontrados nas simulações com rigidez total.

3.3.2 Os custos privados da rigidez de preços

Para verificar sob que condições os preços rígidos configuram-se como um equilíbrio, Ball e Romer (1989) comparam a utilidade esperada do agente i quando ele paga o custo de menu e a utilidade esperada do mesmo quando ele não paga o custo de menu, sob a hipótese de que todos os outros agentes não pagam o custo de menu. Dado que quando o agente i não paga o custo de menu, $D_i = 0$ e $P_i = P_0$, e essa última igualdade, considerando (38), implica que $P_i/P_i^* = (M/P)^{-\pi}$, os referidos autores concluem que a utilidade do agente i quando ele não paga o custo de menu é igual a:

$$E \left[V \left(\frac{M}{P_0}, \left(\frac{M}{P_0} \right)^{-\pi} \right) \right]. \quad (42)$$

Se o agente i paga o custo de menu então $D_i = 1$. Como ele pode corrigir seu preço após a definição de M ele sempre definirá $P_i = P_i^*$, fazendo com que $P_i/P_i^* \equiv 1$. O nível de preços continuará P_0 , pois todos os outros agentes não pagarão o custo de menu. Dessa forma, a utilidade esperada do agente i , quando o custo de menu é pago, é dado por:

$$E \left[V \left(\frac{M}{P_0}, 1 \right) \right] - z. \quad (43)$$

Logo, para os autores a rigidez configurará um equilíbrio quando $(43) < (42)$, ou seja, quando:

$$E \left[V \left(\frac{M}{P_0}, 1 \right) \right] - E \left[V \left(\frac{M}{P_0}, \left(\frac{M}{P_0} \right)^{-\pi} \right) \right] < z. \quad (44)$$

O lado esquerdo de (44) é o custo privado da rigidez, a perda do agente i quando ele não consegue definir P_i igual a P_i^* . A rigidez será um equilíbrio quando o custo privado for menor que o custo de menu.

Expandindo o lado esquerdo de (44) em torno de $M/P_0 = 1$ Ball e Romer (1989) obtém a seguinte aproximação para o custo privado da rigidez:

$$CP(\gamma, \epsilon) \simeq \frac{(\epsilon - 1)(\gamma - 1)^2}{2(\gamma\epsilon - \epsilon + 1)} \sigma_M^2. \quad (45)$$

Como o custo privado depende da variância de M , a rigidez será um equilíbrio caso o custo de menu seja grande em comparação a σ_M^2 .

Dada a condição de heterogeneidade do modelo computacional não poderíamos calcular o custo privado baseados em apenas um agente, assim em nosso modelo o custo privado do agente i é representado por CP_i . Tivemos que utilizar $N + 1$ das simulações de cada bloco para encontrar o custo privado de cada agente, uma simulação na qual todos são rígidos e uma para cada agente ser o único a atualizar preços. Consideramos então CP_i , a utilidade do agente i encontrada na simulação em que só ele atualiza preços, subtraído o valor da utilidade encontrada de i na simulação com rigidez total de preços. Definimos então, o custo privado dinâmico como a média dos custos privados individuais:

$$CP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CP_i. \quad (46)$$

A média dos valores encontrados do CP nas simulações do modelo dinâmico é igual a -4157,64, acusando vantagens privadas à rigidez, enquanto a média dos valores esperados do CP estático é igual a 3.98, sob os parâmetros do modelo dinâmico.

Quando afirmamos que os resultados esperados do modelo estático foram encontrados sob os parâmetros do modelo dinâmico, queremos dizer que os 52 conjuntos de parâmetros utilizados nas simulações do modelo dinâmico foram substituídos nas soluções estáticas,

gerando resultados numéricos para a versão estática do modelo.

Na Figura 23 temos os valores do CP dinâmico, e na Figura 24 os valores do CP estático esperado, dados os parâmetros do modelo dinâmico.

Figura 23. Os 52 valores do custo privado encontrados nos blocos de simulações.

Figura 24. Os 52 valores esperados do custo privado estático, sob os parâmetros utilizados nas simulações.

Mais de 88% das simulações resultaram em vantagens privadas (custos privados negativos) da rigidez de preços. Quando o agente flexibiliza seus preços de maneira isolada, ele passa a formar seus preços sob forte influência de M , e não através da influência de outros preços (rígidos) como normalmente ocorre. Dessa forma, a

atualização acaba deslocando o preço do agente com preços flexíveis para longe dos preços dos outros agentes. O primeiro ponto que notamos nos preços, quando os agentes buscam melhores utilidades, é o rápido decaimento da variância, ou seja, o que gera mais utilidade é estar próximo dos preços dos outros agentes e de certa forma, estar próximo ao preço do equilíbrio estático (como demonstrado na seção 2 deste capítulo). Desta maneira, a atualização de preços, na grande maioria das vezes, gera um deslocamento prejudicial ao agente. Aproximadamente 8% das simulações revelaram custos privados maiores que os custos privados esperados pelo modelo estático. Nestes casos o deslocamento gerado pela atualização de preços acabou levando o agente a aumentar sua utilidade, à custa dos outros agentes, dado que as utilidades dos outros agentes diminuíram nestes casos.

3.3.3 O custo social dos preços rígidos

Para definir o custo social da rigidez de preços, que é a diferença de $V(\cdot)$ quando todos agentes pagam o custo de menu e quando ninguém paga, Ball e Romer (1989) se utilizam dos resultados estáticos descritos anteriormente. Se todos agentes pagam o custo de menu, então $M/P = 1$ e $P_i/P_i^* = 1 \forall i$ em todas realizações de M . Assim a utilidade indireta do agente representativo será apenas $V(1, 1)$. Com isso, e considerando (42), o custo social será:

$$V(1, 1) - E \left[V \left(\frac{M}{P_0}, \left(\frac{M}{P_0} \right)^{-\pi} \right) \right]. \quad (47)$$

Expandindo (48) em torno de $M/P_0 = 1$, os autores obtém a seguinte aproximação para o custo social da rigidez de preços:

$$CS(\gamma, \epsilon) \simeq [(\gamma\epsilon - \epsilon + 1)/2\epsilon]\sigma_M^2. \quad (48)$$

Para analisar o custo social no modelo computacional, subtraímos do valor da utilidade média encontrada na simulação com flexibilidade total (todos agentes com preços flexíveis), o valor da utilidade média encontrada na simulação completamente rígida (todos agentes com preços rígidos). Sob as condições do modelo dinâmico, os valores esperados do custo social estático estão representados na Figura 25 e possuem média igual a 4,18.

Os valores do custo social dinâmico estão representados na Figura 26 e possuem média igual a -840,84.

Figura 25. Os 52 valores esperados do custo social estático, sob os parâmetros do modelo dinâmico.

Figura 26. Os 52 valores encontrados do custo social nos 52 blocos de simulações.

Exatamente metade das simulações resultaram em vantagens sociais (custos sociais negativos) da rigidez de preços. Quando todos atualizam o preço, dado que os choques são muitos e drásticos, a economia, na maioria dos casos, se torna tão instável que prejudica a auto-coordenação dos agentes. Com a auto-coordenação prejudicada os resultados dos agentes no ambiente de flexibilidade se tornam piores que no ambiente rígido (porém

estável). O custo social estático sempre será positivo, porém, em aproximadamente 23% das simulações o custo social dinâmico foi maior (muito maior em alguns casos) que o valor esperado do custo social estático. Nestes casos, a flexibilidade de preços não gerou grande instabilidade na economia, possibilitando que a mesma se coordenasse a um patamar superior e assim, revelando custos vinculados à rigidez.

3.4 Comparando os custos privados e sociais

Segundo Ball e Romer (1989), ao inspecionarmos (45) e (49) podemos concluir que ambos os custos são de segunda ordem, dado que são proporcionais à variância de M . Então, como é possível que pequenos custos de menu justificassem grandes oscilações nominais? Segundo os autores, os trabalhos anteriores consideravam os custos da rigidez em relação a apenas um choque monetário, enquanto o artigo deles considera o custo médio da rigidez para uma distribuição de choques. Para verificar a diferença note que os custos privado e social para uma dada realização de M são respectivamente:

$$\widehat{CP} \simeq \frac{(\epsilon - 1)(\gamma - 1)^2}{2(\gamma\epsilon - \epsilon + 1)}(M - 1)^2 \quad e \quad (49)$$

$$\widehat{CS} \simeq -\frac{1}{\epsilon}(M - 1) + \frac{(\epsilon - 1)(\gamma - 1)}{2\epsilon}(M - 1)^2 + \frac{\gamma}{2\epsilon}\sigma_M^2. \quad (50)$$

O custo privado continua a ser de segunda ordem, mas o custo social passa a ser de primeira ordem, dado que este depende da primeira ordem da aproximação $(M - 1)$ e não somente da segunda. Observe que em (51) o efeito da rigidez é positivo quando M se torna alto de maneira inesperada, dado que o produto cresce acima do esperado. Mas, o efeito é negativo quando M é baixo e o produto cai. Assim, como resultado temos a média do impacto social próxima de zero para uma seqüência aleatória de choques monetários com média 1, o que explica o custo social de segunda ordem e o ganho de segunda ordem relacionado à eliminação de flutuações.

3.4.1 Externalidades e a razão entre os custos privados e sociais

Ambos custos encontrados no modelo estático foram considerados de segunda ordem, porém os custos sociais e privados possuem valores distintos. Considerando (44) e (48), o custo social pode ser reescrito como a soma de dois termos:

$$\begin{aligned} V(1,1) - E \left[V \left(\frac{M}{P_0}, \left(\frac{M}{P_0} \right)^{-\pi} \right) \right] \\ = \left[E \left[V \left(\frac{M}{P_0}, 1 \right) \right] - E \left[V \left(\frac{M}{P_0}, \left(\frac{M}{P_0} \right)^{-\pi} \right) \right] \right] + \left[V(1,1) - E \left[V \left(\frac{M}{P_0}, 1 \right) \right] \right]. \quad (51) \end{aligned}$$

O primeiro termo é o custo privado da rigidez (o que garante $CS \geq CP$ para todos os casos) e o segundo a externalidade da rigidez, que pode ser entendida como o ganho do agente com a estabilização econômica. Em nosso modelo, o valor desta externalidade foi encontrado subtraindo do custo social o valor do custo privado. Considerados os parâmetros que usamos em nossas simulações, a média estática da externalidade esperada é igual a 0,19 enquanto no nosso modelo a média foi de 3316,8 (com oscilações entre valores positivos e negativos). Na Figura 27 temos os valores da externalidade encontrados nos 52 blocos de simulações, e na Figura 28 os valores esperados da mesma no modelo estático.

Figura 27. As externalidades resultantes do modelo dinâmico.

Figura 28. As externalidades esperadas no modelo estático, sob os parâmetros do modelo dinâmico.

Os valores significativos encontrados para as externalidades, que em alguns casos foram negativos simbolizando externalidades positivas da rigidez de preços, podem ser justificados de duas possíveis maneiras: 1) A rigidez aumenta a desigualdade entre os agentes, o que afeta mais fortemente o custo social do que a média dos custos privados, aumentando a externalidade e, 2) a rigidez desorienta os agentes em relação à quantidade a produzir, dada a persistência do choque, levando-o a ter produção maior que um em alguns passos, algo impossível no modelo estático²⁰.

Para explicitar a magnitude das externalidades, Ball e Romer (1989) calculam então a razão entre os custos social e privado usando (45) e (48):

$$R(\gamma, \epsilon) = \frac{CS(\gamma, \epsilon)}{CP(\gamma, \epsilon)}. \quad (52)$$

Note que no modelo estático, custos privados e sociais só existem para situações onde $CP \geq z$, pois só assim a rigidez existiria, e que como $CS \geq CP$, $R \geq 1$ para quaisquer parâmetros do modelo estático. Um valor alto de R justificaria uma intervenção governamental de estabilização para eliminação das externalidades da rigidez, dado que

²⁰Note que no modelo estático $Y_i \leq 1$, porém no modelo dinâmico a produção pode ser maior que um, e quando isso ocorre um valor mediano de γ gera custos privados realmente altos ($1.1^{100} = 13.780,61$), o que justifica a influência de γ nas externalidades.

nestas conjunturas o governo teria vantagem comparativa (custo menor) para tratar o problema. Os valores de R esperados do modelo estático, sob os parâmetros do modelo dinâmico, possuem média igual a 1,14, enquanto os valores de R encontrados no modelo dinâmico possuem média igual a 4.47. Os valores de R esperado estático e R dinâmico estão demonstrados nas Figuras 29 e 30, respectivamente.

Figura 29. Os valores de R esperados no modelo estático, sob os parâmetros do modelo dinâmico.

Figura 30. Os valores de R do modelo dinâmico.

Os valores de R são conseqüências diretas dos valores das externalidades (diferença entre custo social e privado), porém, quando existe vantagem privada e custo social, ou

ainda, custo privado e vantagem social R se torna negativo, e assim, inútil à análise com relação às diferenças entre os custos sociais e privados. Devido a este fato, para o modelo dinâmico definimos:

$$R_n = \frac{e^{CS/100}}{e^{CP/100}}, \quad (53)$$

como uma nova forma de analisarmos as diferenças entre CS e CP ²¹. A média dos valores de R_n encontrados nas simulações é $1,5572E+196$ e seus valores estão demonstrados na Figura 31.

Figura 31. Os valores R_n do modelo dinâmico (escala log).

Observe que alguns valores de R_n são menores que um (externalidades positivas da rigidez) e ainda que alguns tendem a ter valores exorbitantes²² (externalidades negativas de grande magnitude). As médias de R e R_n do modelo dinâmico são valores positivos significativamente grandes o que desbanca a idéia de Ball e Romer sobre efeitos positivos e negativos que se anulam fazendo com que o custo médio da rigidez seja baixo quando existe uma série de choques aleatórios. No modelo dinâmico, os efeitos negativos da rigidez se mostram mais fortes e persistentes que os efeitos positivos.

3.4.2 Quando R se torna grande

²¹O formato da equação (53) garante valores sempre positivos de R_n , comparação entre CS e CP , e nenhum valor tendendo a zero ou infinito (algo que ocorria antes de dividirmos por cem os custos que elevam o número neperiano). Note ainda, que R_n seria sempre aproximadamente um para todos valores de CS e CP estáticos.

²²Isso ocorre com R no modelo estático quando γ e ϵ tendem a um

Apenas um valor significativo de R numa situação onde $z > CP$ revelaria uma vantagem governamental na eliminação da rigidez de preços do mercado, porém, em que ambientes R se torna grande o suficiente?

No modelo de referência, Ball e Romer (1989) mostram que R é decrescente em relação à ϵ . Isto se deve a dois fatos, 1) um grande ϵ implica em grande custo privado, dado que os desvios de P_i^* a P_i geram grandes conseqüências na demanda e, 2) gera pouca externalidade, pois um mercado mais competitivo reduz os efeitos da demanda agregada sobre os vendedores. No modelo computacional R_n se mostrou crescente em relação à ϵ . Como dito anteriormente, valores grandes de ϵ fazem cestas heterogêneas gerarem maiores utilidades e este efeito, aparentemente, compensou e superou o efeito de ϵ no custo privado da rigidez.

Os autores mostram ainda que γ tem efeitos ambíguos sobre R . Um grande γ implica em agentes que fortemente desgostam de flutuações em sua produção. Assim, tanto o custo privado como as externalidades da rigidez aumentam, dado que tanto o desvio nos preços dos agentes quanto as movimentações na demanda agregada alterariam as flutuações no produto²³. Em nosso modelo R_n se demonstra crescente em relação à γ , pois mesmo que efetivamente valores crescentes de γ impliquem em custos sociais e privados maiores em nosso modelo, seu efeito no custo social se demonstra mais forte.

Para finalizar, os autores demonstram que R é suficientemente grande apenas para valores implausíveis dos parâmetros ϵ e γ , pois apenas com γ e ϵ relativamente pequenos R se torna grande. Os autores, exemplificando, demonstram que com $\epsilon = 5$ (que no modelo estático implica em preços 25% acima do custo marginal) e com $\gamma = 5$ (equivalente a uma elasticidade de oferta de trabalho de 1/4 no modelo estático), configurações já distantes da realidade, $R = 1,4$. Apenas com parâmetros próximos de um R se torna significativo, justificando uma intervenção governamental (com $\epsilon = 2$ e $\gamma = 1,1$ $R = 72$). Na média, os valores de R que foram encontrados por nós foram muito maiores que os valores encontrados no modelo estático, mesmo com os valores negativos de R . A média de R_n foi gigantesca, mas não pode ser comparada aos padrões de R , dadas as diferenças

²³Os autores salientam que mesmo com sua influência ambígua, quando γ tende a um, R tende a infinito, pois neste caso o preço dos agentes se aproxima a um para qualquer valor de M e assim, nenhum agente vai ajustar seu preço caso outros não ajustem, gerando custos privados próximos de zero.

no cálculo. Mesmo assim, ao observarmos os resultados de R_n podemos notar claramente que os custos privados são bem menores que os custos sociais. Podemos observar também que em muitos casos a vantagem privada (CP negativo) se mostrou muito maior que a vantagem social (CS negativo) da rigidez, o que revela a presença de um outro dilema econômico em nosso modelo, o da eficiência econômica contra a equidade. O governo, nestes casos, ao intervir garante uma economia mais igualitária, porém com uma média de utilidade menor.

CONCLUSÕES

Dado o formato das funções do índice de consumo e nível de preços, que punem a heterogeneidade o equilíbrio encontrado no modelo dinâmico ficou um pouco abaixo do equilíbrio estático. Toda produção de todos os passos foram vendidas, a produção média se manteve abaixo de um, o nível de preços oscilou em torno de um e a utilidade se manteve abaixo do valor ótimo do equilíbrio estático. Em nenhum momento o modelo dinâmico convergiu para um estado homogêneo, porém as baixas variâncias mostraram que os agentes possuem atitudes semelhantes na estabilidade dinâmica.

Por outro lado, a inserção da heterogeneidade, realizada pela utilização do modelo dinâmico, após a adição de choques monetários, modificou drasticamente os resultados encontrados pelo modelo estático de Ball e Romer (1989): 1) grandes vantagens privadas da rigidez (CP negativo), 2) desigualdades entre os agentes que implicam em perdas sociais, 3) vantagens sociais de estabilização (custos sociais negativos) 4) com a possibilidade de externalidades positivas, 5) com valores significativamente maiores de externalidade, 6) demonstrando que na média os efeitos negativos dos choques monetários são maiores que seus efeitos positivos, e que assim grandes custos podem emergir de seqüências aleatórias de choques, 7) com ϵ e γ afetando R de maneira distinta, 8) por valores grandes de R/R_n mesmo para parâmetros possivelmente “reais” e 9) pela inserção do dilema entre equidade e eficiência econômica na decisão governamental.

Porém duas características irreais do modelo devem ser salientadas, pois estas provavelmente afetam os resultados do mesmo. Os choques monetários são muito fortes e muito constantes. Em certos momentos a quantidade de moeda pode duplicar ou triplicar de um passo a outro e em todos os passos a quantidade de moeda é modificada (na maioria das vezes de maneira drástica), algo não observado na realidade. Seria fácil testar novamente o modelo supondo choques menores e mais espaçados para comparar resultados, porém, o tempo necessário para a realização de tais simulações somado do tempo necessário para a análise dos resultados seria grande, o que impossibilita a inserção destes pontos nesta pesquisa.

Outra característica do modelo que foge da realidade é a existência de choques positivos e negativos em mesma quantidade, pois na realidade em quase todos casos os choques são

positivos. Alguns testes iniciais foram feitos neste sentido, com simulações nas quais o choque era sempre positivo, e os custos tanto privados quanto sociais se mostraram maiores nesta situação. Como ambos cresciam em proporções semelhantes, os valores de R quase não se alteravam. Estudos mais profundos que considerem apenas choques positivos devem fazer parte de outro trabalho.

Um ponto negativo do modelo dinâmico que deve ser ressaltado é o fato do comportamento de um agente afetar visivelmente o ambiente econômico, o que não ocorre no modelo estático. Milhares de agentes são necessários para tornar essa influência inexpressiva, algo inviável ao nosso modelo econômico dinâmico dado que a potência computacional necessária para modelos com tantos agentes não está a nosso alcance.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKERLOF, G. e YELLEN, J. (1985) A near-rational model of the business cycle, with wage and price inertia, **Quarterly Journal of Economics**, 100(5), pp. 823-38.
- ARTHUR, W. B.; DURLAUF, S. N.; LANE, D. A. (1997) *The economy as an evolving complex system II*. Massachusetts: Adisson Wesley.
- AXELROD, R. (1997) *The complexity of cooperation: agent-based models of competition and collaboration*, Princeton, Princeton University Press.
- BALL, L. e ROMER, D (1989) *Are prices too sticky?*, **Quarterly Journal of Economics**, 104(3), p. 507-524.
- BILS, M. e KLENOW, P. (2004) Some evidence on the importance of sticky prices, **Journal of Political Economy**, 112(5).
- BLANCHARD, O. e KİYOTAKI, N. (1987) Monopolistic competition and the effects of aggregate demand. **American Economic Review**, 4(77), p. 647-666.
- BONOMO, M., CARRASCO, V. e MOREIRA, H. (2003) Aprendizado evolucionário, inércia inflacionária e recessão em desinflações monetárias, **Revista Brasileira de Economia**, 57(4), out/dez, pp. 663-681.
- CARROLL, C. (2006) *The epidemiology of macroeconomic expectations*, in L. Blume e S. Durlauf (eds) *The Economy as an Evolving Complex System, III*, Oxford: Oxford University Press.
- EATON, B. C. e EATON, D. F. (1998) *Microeconomia*, São Paulo, Saraiva.
- FERGUSON, C. E. (1982) *Microeconomia*, Rio de Janeiro, Forense universitária, 5ª edição.
- FISCHER, S. (1977) Long-term contracts, rational expectations and the optimal money supply rule, **Journal of Political Economy**, 85(1), pp. 191-205.
- FREITAS, G. G. (2003) **Economia e sistemas complexos**: interações sociais, dinâmicas emergentes e uma análise da difusão da internet na cidade de São Paulo, Dissertação

(Mestrado em Economia) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade.

GILBERT, N. e TROITZSCH, K (1999) *Simulation for the Social Scientist*, Open University Press.

HOLLAND, J. H. e MILLER, J. H. (1991) Artificial adaptive agents in economy theory, **American Economic Review**, 81(2), pp. 365-71.

KATZNER, D. (1989) *The Walrasian vision of the microeconomy: an elementary exposition of the structure of modern general equilibrium theory*, Michigan: University of Michigan Press.

KEYNES, J. M. (1936) *The general theory of employment, interest and money*, Harcourt, Brace.

LIMA, G. T. e SILVEIRA, J. J. (2008) Nominal adjustment regimes in an evolutionary macrodynamics, **Brazilian Review of Econometrics**, v. 28, pp. 51-75.

LUCAS, R. E., Jr. (1972) Expectations and the neutrality of money, **Journal of Economic Theory**, 4, April, pp. 103-24.

LUCAS, R. E., Jr. (1973) Some international evidence on output-inflation tradeoffs, **American Economic Review**, 63, June, pp. 326-34.

MANKIW, N. e REIS, R. (2002) Sticky information versus sticky prices: a proposal to replace the New Keynesian Phillips curve, **Quarterly Journal of Economics**, 117(4), pp. 1295-1328.

MATSUMOTO, M. e NISHIMURA, T. (1998) *Mersenne Twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator*, ACM Trans. on Modeling and Computer Simulation Vol. 8, No. 1, January pp.3-30

MILLER, J. H. e PAGE S. E. (2007) *Complex adaptive systems : An introduction to computational models of social life*, Princeton, Princeton University Press, pp. 23-25.

PHELPS, E. S. (1969) Capítulo de Introdução em PHELPS, E. S.; et al., *Microeconomic Foundations of Employment and Inflation Theory*, New York, Norton Press.

REYNOLDS, C. W. (1987) *Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model*, in *Computer Graphics*, 21(4) (SIGGRAPH '87 Conference Proceedings) pages 25-34.

SAINT-PAUL, G. (2005) Some evolutionary foundations for price level rigidity, **American Economic Review**, 95(3), June, pp. 765-779.

SALLACH, D. e MACAL, C. (2001) The simulation of social agents: an introduction, **Special Issue of Social Science Computer Review**, 19(3):245-248.

SCHELLING, T. (1969) Models os segregation, **American Economic Review**, 59(2), 488-93.

SILVA, N. (2002) **Políticas fiscal e monetária no contexto da competição imperfeita**, Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Santa Catarina.

SILVEIRA, J. J. e LIMA, G. T. (2008) Conhecimento imperfeito, custo de otimização e racionalidade limitada: uma dinâmica evolucionária de ajustamento nominal incompleto. **Revista Brasileira de Economia**, v. 62, pp. 57-75.

TAKAYAMA, A. (1985) *Mathematical economics*, Second edition, Cambridge: Cambridge University Press.

TAYLOR, J. (1980) Aggregate dynamics and staggered contracts, **Journal of Political Economy**, 88(1), pp. 1-23.

TAYLOR, J. (1999) *Staggered price and wage setting in macroeconomics*, in J. Taylor e M. Woodford (eds) *Handbook of Macroeconomics*, Volume I, New York: Elsevier Science, pp. 1009-1050.

TESFATSION, L. (2005) *Agent-based computational modelling and macroeconomics*, **Staff General Research Papers**, N° 12402, Iowa State University.

TERANO, T.; DEGUCHI H. e TAKADAMA, K. (2004) *Meeting the challenge of social problems via agent-based simulation: Post-proceedings of the second International Workshop on Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex Systems*, Editora Springer, pp. 142-143.

VON NEUMANN, J. e BURKS, A. W. (1966) *Theory of self-reproducing automata*, Illi-

nois, University of Illinois Press.

WOODFORD, M. (2003) *Imperfect common knowledge and the effects of monetary policy*, in P. Aghion, et alii (EDS) *Knowledge, Information and Expectations in Modern Macroeconomics: Essays in Honor of Edmund Phelps*, Princeton: Princeton University Press, pp. 25-58.