

Ricardo Vieira Barroso

*Avaliação de Políticas Regulatórias e de
Estrutura do Mercado Financeiro em um
Modelo Dinâmico de Sistema Bancário
com Aprendizado*

Brasília – DF

Março / 2014

Ricardo Vieira Barroso

*Avaliação de Políticas Regulatórias e de
Estrutura do Mercado Financeiro em um
Modelo Dinâmico de Sistema Bancário
com Aprendizado*

Tese apresentada ao Departamento de Economia da Universidade de Brasília para a obtenção do título de Doutor em Economia.

Orientador:

Prof. Daniel O. Cajueiro, PhD.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACE - DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
PÓS GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

Brasília – DF

Março / 2014

Tese de Doutorado sob o título “*Avaliação de Políticas Regulatórias e de Estrutura do Mercado Financeiro em um Modelo Dinâmico de Sistema Bancário com Aprendizado*”, defendida por Ricardo Vieira Barroso e aprovada em 14 de março de 2014, em Brasília, Distrito Federal, pela banca examinadora constituída pelos doutores¹:

Prof. Dr. Daniel O. Cajueiro
Departamento de Economia - UnB
Orientador

Prof. Rodrigo A. de S. Peñaloza, PhD
Departamento de Economia - UnB

Prof. Dr. Vinicius A. Sobreiro
Departamento de Administração - UnB

Dr. Mardílson F. Queiroz
Banco Central do Brasil

Dr. Sérgio R. Stancato de Souza
Banco Central do Brasil

¹Assinaturas constam na ata oficial disponível no Departamento de Economia da UnB.

Resumo

O presente trabalho propõe um modelo de rede de bancos com modelagem baseada em agentes, em que os bancos escolhem seus níveis de capitalização e de liquidez ótimos tendo em conta o ambiente no qual se inserem. O modelo é original ao permitir que os bancos respondam estrategicamente a incentivos e novas situações com a introdução de um esquema de aprendizado, além de estudar os efeitos de uma câmara de pagamentos na estabilidade financeira. Os bancos interagem entre si por meio do mercado interbancário e podem se tornar insolventes devido a perdas em seus ativos ilíquidos, o que por sua vez possibilita o contágio e o risco sistêmico. São realizadas várias simulações com diferentes configurações de risco, capital, liquidez, infraestrutura do mercado interbancário e outros parâmetros que permitem analisar a resiliência de cada configuração a choques externos. De forma geral, os resultados da simulação indicam que a implantação de uma câmara de pagamentos e o aumento do requerimento mínimo do nível de capitalização dos bancos representam a melhor política para a redução do risco sistêmico.

Palavras-chave: modelagem baseada em agentes, contágio financeiro, mercado interbancário, risco sistêmico, câmara de pagamentos.

Abstract

This paper proposes a model of banking networks with agent-based modeling, where banks can choose their optimum capitalization and liquidity levels taking into account the environment in which they operate. The model innovates as it allows the banks to respond strategically to incentives and new situations with the introduction of a learning scheme, as well as studying the effects of a clearinghouse on financial stability . Banks interact with each other through the interbank market and may become insolvent due to losses on their illiquid assets , which in turn enables contagion and systemic risk. Several simulations are conducted with different configurations of risk, capital, liquidity, interbank market infrastructure and other parameters, which allow for the assessment of the resilience of each configuration to external shocks. Overall, the simulation results indicate that the implementation of a clearinghouse and increasing the minimum capitalization level requirement for the banks represent the best policy to reduce systemic risk .

Keywords: agent-based modelling, financial contagion, interbank market, systemic risk, clearinghouse.

Sumário

| | |
|--|--------|
| Lista de Figuras | p. vi |
| Lista de Tabelas | p. vii |
| Introdução | p. 1 |
| 1 Descrição do modelo | p. 4 |
| 1.1 Introdução | p. 4 |
| 1.2 Bancos | p. 5 |
| 1.2.1 Balancete | p. 5 |
| 1.2.2 Estratégia do banco | p. 8 |
| 1.2.3 Esquema de aprendizado | p. 9 |
| 1.3 Infraestrutura de mercado | p. 10 |
| 1.3.1 Mercado interbancário sem câmara | p. 11 |
| 1.3.2 Mercado interbancário com câmara | p. 11 |
| 1.4 Sequência de eventos do modelo | p. 14 |
| 2 Resultados das Simulações | p. 17 |
| 2.1 Introdução | p. 17 |
| 2.2 O comportamento dos bancos | p. 18 |
| 2.2.1 Experimento 0: Configuração padrão | p. 18 |
| 2.2.2 Experimento 1: Maior risco dos empréstimos para o setor real | p. 19 |
| 2.2.3 Experimento 2: Maior volatilidade dos depósitos | p. 21 |

| | | |
|----------|---|-------|
| 2.2.4 | Experimento 3: Maior requerimento de nível de capitalização . . | p. 23 |
| 2.2.5 | Experimento 4: Maior requerimento de nível de liquidez | p. 26 |
| 2.2.6 | Experimento 5: Sistema bancário sem mercado interbancário . . | p. 29 |
| 2.2.7 | Experimento 6: Sistema bancário com uma câmara interbancária | p. 31 |
| 2.3 | Testes de estresse | p. 33 |
| 2.3.1 | Testes de estresse macroeconômicos | p. 34 |
| 2.3.2 | Testes de estresse microeconômicos | p. 35 |
| 2.4 | Conclusões | p. 35 |
| 3 | Variações do Modelo | p. 39 |
| 3.1 | Introdução | p. 39 |
| 3.2 | Bancos de diferentes tamanhos | p. 39 |
| 3.2.1 | Descrição do modelo | p. 40 |
| 3.2.2 | Experimento | p. 41 |
| 3.3 | Empoçamento de liquidez | p. 44 |
| 3.3.1 | Descrição do modelo | p. 44 |
| 3.3.2 | Experimento | p. 45 |
| | Conclusão | p. 47 |
| | Referências | p. 50 |
| | Anexo | p. 53 |
| | Teste de convergência do modelo | p. 53 |

Lista de Figuras

| | | |
|----|--|-------|
| 1 | Resultados Experimento 1. | p. 20 |
| 2 | Resultados Experimento 2. | p. 22 |
| 3 | Resultados Experimento 3. | p. 25 |
| 4 | Resultados Experimento 3 - Desvio padrão. | p. 26 |
| 5 | Resultados Experimento 4. | p. 28 |
| 6 | Resultados Experimento 4 - Desvio padrão. | p. 29 |
| 7 | Resultados Experimento 5. | p. 30 |
| 8 | Resultados Experimento 6. | p. 32 |
| 9 | Resultados Experimento 6 - Desvio padrão. | p. 33 |
| 10 | Resultados Experimento de Bancos de diferentes tamanhos. | p. 43 |
| 11 | Resultados Experimento de Empoçamento de liquidez. | p. 46 |
| 12 | Resultados Experimento Teste de convergência. | p. 54 |

Lista de Tabelas

| | | |
|----|---|-------|
| 1 | Classes do passivo. | p. 6 |
| 2 | Penalidade no caso de insolvência | p. 8 |
| 3 | Classes de ativos. | p. 8 |
| 4 | Filas dos tomadores e emprestadores | p. 11 |
| 5 | Contratos (sem câmara) | p. 11 |
| 6 | Filas dos tomadores e emprestadores | p. 13 |
| 7 | Contratos (com câmara) | p. 13 |
| 8 | Taxas de juros na configuração padrão (Experimento 0). | p. 18 |
| 9 | Testes de estresse macroeconômicos - insolvências por ciclo | p. 34 |
| 10 | Testes de estresse macroeconômicos - contágios por ciclo | p. 35 |
| 11 | Testes de estresse microeconômicos - contágios por ciclo | p. 35 |

Introdução

O sistema bancário é resiliente a contágio financeiro? Qual o risco sistêmico de um dado sistema bancário? Um banco pode ser considerado muito conectado ou muito grande para deixá-lo falir? Que tipos de políticas os órgãos reguladores devem considerar de forma a melhorar a estabilidade financeira do sistema bancário? Quais são os efeitos colaterais das políticas de regulação? Algumas dessas questões foram introduzidas seminalmente por Allen e Gale (2000) e Freixas, Parigi e Rochet (2000) e são agora de fundamental interesse para reguladores e pesquisadores. Ao mesmo tempo que o mercado interbancário é uma importante fonte de liquidez, ele também é uma fonte relevante de contágio devido às obrigações que diferentes instituições têm umas com as outras.

Uma vez que Allen e Gale (2000) e Freixas, Parigi e Rochet (2000) focaram basicamente em redes regulares, a literatura recente tem tentado avaliar outros tipos de redes na dinâmica de um dado sistema bancário (Upper (2011)). A literatura pode ser dividida em dois diferentes ramos: (1) Trabalhos baseados em redes financeiras reais (Boss et al. (2004), Müller (2003), Inaoka et al. (2004), Boss, Summer e Thurner (2004), Elsinger, Lehar e Summer (2006), Wan, Chen e Liu (2006), Lublòy (2006), Soramaki et al. (2007), Iori et al. (2008), Cajueiro e Tabak (2008), Cajueiro, Tabak e Andrade (2009)); (2) Trabalhos baseados em redes teóricas (normalmente redes complexas) (Iori, Jafarey e Padilha (2006), Nier et al. (2007), Gai, Haldane e Kapadia (2011)). Enquanto parte desses trabalhos tenta caracterizar a topologia dessas redes, a outra parte criou métodos de simulação para estudar o perigo de contágio no mercado interbancário.

Um aspecto relevante que não está presente nos modelos de mercado interbancário acima é como os bancos responde estrategicamente a incentivos e novas situações. De forma a considerar isto, assumiu-se que os bancos estão simultâneamente jogando um jogo repetido no qual eles escolhem seus níveis de liquidez e capitalização. Neste cenário, quanto o maior o lucro de uma estratégia, maior a chance de ela ser escolhida novamente no futuro. Nosso esquema de aprendizado é baseado na função de atração ponderada por experiência (*experience-weighted attraction function - EWA*) introduzida por Camerer e Ho (1999) e usada recentemente por Pouget (2007) para estudar o desenho de mercados financeiros. Nessa configuração, os bancos adaptam seu comportamento e redes

interbancárias são endogenamente formadas de acordo com estratégias escolhidas para maximizar o lucro acumulado. Desta forma, em vez de estudar contágio e risco sistêmico em redes exógenas, focou-se nestas questões em redes que são formadas em resposta ao excesso ou falta de liquidez caudado pelo comportamento estratégico dos bancos.

Baseado neste modelo, estudou-se como diferentes políticas de regulação, estruturas de mercado e cenários do setor real afetam o comportamento do sistema bancário. Considerou-se variações no nível de capitalização e de liquidez mínimos requeridos, no risco dos empréstimos para o setor real e na volatilidade dos depósitos. Além disso, considerou-se três diferentes estruturas de mercado ilustrativas: (1) Um cenário com mercado interbancário e disciplina de mercado (cenário padrão); (2) Um cenário sem mercado interbancário (mas apenas o emprestador de última instância); (3) Um cenário com uma câmara de pagamentos que garante parcialmente a liquidação dos pagamentos no evento de insolvência e inabilidade de pagamento de algum participante.

Também apresentam-se duas variações do modelo principal, sendo que na primeira os bancos passam a ter a opção de não emprestar todos os seus recursos líquidos disponíveis no mercado interbancário. A idéia é analisar em que medida o aumento do risco dos empréstimos para o setor real da economia impacta o mercado interbancário no seu papel de distribuição de liquidez entre os bancos. Na segunda variação introduz-se a possibilidade de bancos com diferentes tamanhos (grandes e pequenos) coexistirem. O tamanho no caso se refere a base de depósitos dos bancos, e a idéia principal é avaliar a importância dos bancos grandes na distribuição de liquidez para o sistema bancário (existência de *money centers*) e na estabilidade do sistema financeiro.

A partir das simulações realizadas, encontrou-se que: (i) o modelo responde como se espera de um sistema financeiro real a variações em parâmetros da economia, como ao aumento do risco dos empréstimos para a economia real, situação na qual os bancos elevam seu nível de capitalização para suportar as perdas maiores; (ii) a existência do mercado interbancário serve como estabilizador do sistema financeiro, já que a possibilidade de troca de liquidez entre os bancos os torna indiferentes a variações na volatilidade dos depósitos; (iii) políticas regulatórias que aumentem o nível de capitalização são eficazes na redução de casos de insolvências e contágio, com pouco impacto nos empréstimos para a economia real. Já políticas que estipulem níveis de liquidez mais altos diminuem a necessidade de os bancos recorrerem a empréstimos de emergência do Banco Central, porém tem grande impacto no nível de empréstimos para a economia real; (iv) a introdução de uma câmara de pagamentos é muito eficiente na mitigação do risco sistêmico, ao

mesmo tempo que não provoca grandes alterações nas demais variáveis da economia; (v) conforme verificado na literatura, a introdução de bancos de diferentes tamanhos, grandes e pequenos, faz com que os bancos grandes atuem como *money centers*; (vi) não se verificou a tendência de os bancos empoçarem liquidez (*liquidity hoarding*) devido ao aumento do risco de inadimplência dos bancos no mercado interbancário, ocasionado por sua vez pelo aumento do risco dos empréstimos para a economia real. Tal fato remete à necessidade de modelagem da assimetria de informação como forma de explicar esse fenômeno.

Deve-se mencionar que não é a primeira vez que um modelo computacional é usado para entender como diferentes políticas de regulação, estruturas de mercado e cenários do setor real afetam o comportamento do sistema bancário [Goodhart, Sunirand e Tsomocos (2005), Upper (2011), Lenzu e Tedeschi (2012)]. Contudo, como mencionado acima, nossa abordagem é original devido ao fato de que os bancos respondem estrategicamente de acordo com Camerer e Ho (1999).

O restante deste trabalho está estruturado da seguinte forma. O Capítulo 1 descreve o modelo em questão e o Capítulo 2 apresenta os principais resultados das simulações. O Capítulo 3 apresenta as duas variações do modelo do Capítulo 1. O trabalho termina com conclusões e tópicos futuros de pesquisa.

1 *Descrição do modelo*

1.1 Introdução

Nosso modelo de sistema bancário dinâmico é simulado em ciclos discretos de tempo $t = 0, 1, 2, \dots, T$, sendo que cada ciclo é composto por três unidades de tempo: hoje, horizonte de curto prazo e horizonte de longo prazo. Ele é formado por N bancos que podem se conectar por meio de uma rede endógena que representa o mercado interbancário². Todos os bancos são caracterizados pelo seu balancete, com ativos e passivos. Uma característica particular é que este modelo é paramétrico. Enquanto alguns parâmetros correspondem a medidas regulatórias como níveis de liquidez e de capitalização mínimos requeridos, outros parâmetros correspondem a características específicas do mercado como volatilidade dos depósitos ou risco dos empréstimos para o setor real.

Como será descrito mais adiante, a sequência de eventos em um ciclo segue a estrutura de Diamond e Dybvig (1983), Allen e Gale (1998) e Allen e Gale (2000). No período 1, os bancos começam com depósitos iguais a 1 e escolhem suas estratégias, que determina o montante de ativos de longo prazo (empréstimos para o setor real) versus o montante de ativos líquidos. Devido à natureza estocástica dos retornos dos empréstimos para o setor real, os bancos também devem escolher o montante de capital no seu passivo, de forma a suportar perdas nesses ativos. No período 2, os bancos recebem um choque de liquidez representado pelo percentual de depositantes impacientes que sacam seus recursos mais cedo. Bancos com falta de liquidez tomam recursos emprestados ou no mercado interbancário ou do Banco Central. Finalmente, no período 3, os empréstimos para o setor real maturam e os depositantes pacientes consomem os recursos remanescentes. Em cada período, o balancete dos bancos é atualizado de acordo com o retorno e o custo dos ativos e dos passivos. Os bancos também medem a lucratividade associada com as escolhas feitas no período 1, dada pelo retorno no investimento (*return on investment* -

²Em um de nossos experimentos simulados, para efeito ilustrativo, considerou-se que não há mercado interbancário.

ROI), i.e., a relação entre o lucro nominal e o nível de capital. Essa relação irá direcionar a probabilidade de essa estratégia ser escolhida de novo no futuro por meio de um mecanismo de aprendizado inserido no modelo. Apenas neste último período os bancos podem se tornar insolventes.

Na realidade, pode-se pensar no sistema bancário que foi simulado como um modelo com múltiplas regiões, em que cada banco representa uma única região isolada com uma população de massa 1 que recebe uma renda de 1 a cada ciclo. A população cria um banco para ter acesso a investimentos de longo prazo, e irá consumir seus recursos inteiramente no período 2 (depositantes impacientes) ou no período (depositantes pacientes). Assim, as únicas variáveis dinâmicas de um ciclo para o outro são aquelas relacionadas à experiência passada que os bancos adquirem por meio do mecanismo de aprendizado, que os ajudará a escolher estratégias melhores. Os bancos reiniciam o próximo ciclo com o mesmo montante 1 de depósitos, tenham eles ficado insolventes ou não no ciclo anterior.

Para maior clareza, o restante do capítulo contendo o detalhamento do modelo está estruturado em três seções. Na primeira seção introduz-se o modelo de bancos: balancetes, estratégias e processo de aprendizado. Na segunda, apresenta-se o funcionamento do mercado interbancário. Na última seção, detalha-se a sequência de eventos que acontecem em um ciclo de simulação.

1.2 Bancos

1.2.1 Balancete

Assume-se que cada banco j é caracterizado pelo seu balancete. Assume-se também que itens no ativo têm valores positivos, enquanto os itens no passivo tem valores negativos (desta forma a soma de todos os itens no balancete deve ser zero). Os itens no passivo do banco j são:

- a) Capital C^j : capital do banco j .
- b) Depósito D^j : valor agregado de depósitos no banco j . Eles incorrem em custo de $d\%$ por período para o banco (o mesmo para todos os bancos do sistema).
- c) Empréstimo interbancário (quando o j é o tomador de empréstimo) I^j : valor agregado dos empréstimos interbancários. A duração do empréstimo (maturidade) é de

um período de tempo e o custo por período é exogenamente dado por $i\%$ (o mesmo para todos os bancos do sistema).

- d) Empréstimo Banco Central B^j : valor dos empréstimos tomados do Banco Central pelo banco j . A duração do empréstimo (maturidade) é de um período de tempo e o custo por período é exogenamente dado por $b\%$ (o mesmo para todos os bancos do sistema).

É importante descrever como o choque de liquidez ocorre em nosso modelo. Definem-se dois parâmetros $s\%$ e $s_v\%$. O primeiro indica o percentual médio de depositantes impacientes que retiram seus recursos no período 2. É constante ao longo de todos os ciclos de simulação. Seja s_t^j o percentual de depositantes impacientes do banco j no ciclo t^3 :

$$s = \frac{\sum s_t^j}{N}. \quad (1.1)$$

O último indica os limites de uma distribuição uniforme dentro do intervalo $[(s - s_v)\%, (s + s_v)\%]$ da qual o choque de liquidez do banco j no ciclo t (s_t^j) é independentemente e aleatoriamente sorteada.

Pode-se notar que, de forma a garantir que o nível médio do choque de liquidez seja exatamente $s\%$, apenas metade dos bancos recebe seu choque de liquidez extraído da distribuição uniforme. A outra metade recebe o choque de liquidez de forma a cancelar o desvio da média. Por exemplo, se um banco recebe um choque de liquidez de $(s - 4)\%$ sorteado da distribuição uniforme (desvio de -4% da média) existe outro banco simétrico com choque de liquidez $(s + 4)\%$ (desvio de $+4\%$). Este parâmetro é uma proxy para o choque de liquidez agregado do sistema bancário. Espera-se que o nível de liquidez dos bancos convirja para esse valor nos experimentos com mercado interbancário.

A Tabela 1 resume as principais características das classes do passivo dos bancos.

Tabela 1: Classes do passivo.

| Passivo | Vencimento | Custo |
|---------|---------------|-------|
| C^j | - | 0% |
| D^j | $t + 1/t + 2$ | $d\%$ |
| I^j | $t + 1$ | $i\%$ |
| B^j | $t + 1$ | $b\%$ |

Os ativos do banco j são:

³Também se chama s_t^j choque de liquidez.

- a) Ativo líquido L^j : Ativo que é facilmente convertido em moeda. Corresponde a reserva bancária com retorno nulo.
- b) Empréstimo interbancário (quando o banco j é o emprestador) I^j : valor agregado dos empréstimos interbancários. A duração do empréstimo (maturidade) é de um período de tempo e o retorno por período é exogenamente dado por $i\%$ (o mesmo para todos os bancos do sistema).
- c) Empréstimo para o setor real R^j : valor agregado dos empréstimos para o setor da economia. A duração do empréstimo (maturidade) é de dois períodos de tempo e o retorno por período para o banco j é exogenamente dado por $r^j\%$. Vale a pena mencionar que $r^j\%$ é uma variável estocástica cujo valor é derivado de uma distribuição log-normal com média r_e e desvio padrão sd_e (o mesmo para todos os bancos do sistema)⁴.

Além do retorno extraído da distribuição log-normal, introduz-se outro parâmetro que afeta o valor dos empréstimos para o setor real. No evento que um banco se torne insolvente, i.e., seu capital é completamente esgotado (torna-se positivo) devido a perdas nos empréstimos para o setor real, este banco recebe uma penalidade no valor deste empréstimos, que é reduzido adicionalmente em $p\%$. Tenta-se reproduzir aqui o fato de que uma vez que o banco se torna insolvente, ele entre em um regime especial. Neste regime a liquidação ordenada de seus ativos é afetada, sofrendo uma depreciação maior no seu valor de mercado do que quando a liquidação ocorre em condições normais (com o banco solvente)⁵. Neste modelo, a falta de qualquer penalidade iria induzir os bancos a sempre escolher o menor nível de capital, independente de outros parâmetros do modelo. Como os bancos buscam a maximização de sua lucratividade (ou a relação entre lucro nominal e capital) a escolha de capital próximo de zero seria ótima, uma vez que a ocorrência de lucros positivos facilmente ultrapassa a ocorrência de lucros negativos no longo prazo⁶. Neste caso, seria irrelevante para o banco se tornar insolvente ou não final do ciclo de simulação. Desta forma, a introdução da penalidade corrige esta questão,

⁴O valor de $r^j\%$ é dado subtraindo 1 e multiplicando por 100 o número extraído da distribuição log-normal de média r_e e desvio padrão sd_e .

⁵Este argumento se baseia no trabalho de Diamond e Rajan (2001), que oferece uma justificativa para a existência de bancos baseada no papel disciplinador da corrida bancária. No seu modelo, o valor do ativo (empréstimo) para o seu principal financiador (banco) com experiência em lidar com este tipo de ativo é maior do que para outras instituições. Se outro financiador (ou autoridade financeira, no caso de insolvência) substitui o primeiro no contrato, ele obtém um valor menor de liquidação para os ativos.

⁶Isto ocorre devido às taxas exogenamente escolhidas dos ativos e passivos dos bancos que garantem um *spread* positivo no longo prazo.

dando ao evento de insolvência a relevância vista no mundo real ao criar um *gap* entre a lucratividade dos bancos nestes dois estados (solvência e insolvência).

A Tabela 2 exemplifica como a penalidade é aplicada ao valor do empréstimo ao setor real e como ela afeta o nível de capital:

Tabela 2: Penalidade no caso de insolvência

| Item | Antes do vencimento | Após vencimento (<i>retorno</i> = -10%) | Após penalidade (<i>p</i> = 20%) |
|------------------------------|---------------------|---|--------------------------------------|
| Empréstimo <i>setor real</i> | 100 | 90 | 72 |
| <i>Capital</i> | -5 | 5 | 23 |

A Tabela 3 mostra as principais características das classes de ativos:

Tabela 3: Classes de ativos.

| Ativo | Vencimento | Retorno |
|-------|------------|---------|
| L^j | t | 0% |
| I^j | $t + 1$ | i % |
| R^j | $t + 2$ | r^j % |

De forma a simplificar o modelo, considera-se que todas as taxas são exogenamente determinadas e que precisam satisfazer a seguinte ordenação:

$$b\% > [(r_e - 1) * 100]\%^7 > i\% > d\%.$$

Desta forma, os bancos tem incentivos para emprestar para o setor real da economia (*spread* positivo ou $E(r^j\%) - d\% > 0$) mas também devem reservar liquidez suficiente para evitar empréstimos junto ao Banco Central com taxas punitivas.

1.2.2 Estratégia do banco

Em cada ciclo de simulação, os bancos participam de um jogo simultâneo. Nesse jogo, a estratégia do banco j pode ser resumida pela escolha, no começo de cada ciclo, de uma ação (α^j, β^j) , em que α^j é o nível de capitalização⁸ do banco j e β^j é o nível de liquidez⁹ do banco j .

Assume-se que existe um número finito de valores de α^j e β^j . Assim, o número de estratégias (α^j, β^j) é também finito.

⁷Este é o valor de $E(r^j\%)$.

⁸A relação entre o capital do banco (C^j) e os empréstimos para o setor real (R^j).

⁹A relação entre os ativos líquidos (L^j) e depósitos (D^j).

No começo de cada ciclo, cada banco começa com valor de 1 unidade de depósitos. A partir da escolha da estratégia (α^j, β^j) a proporção de ativos líquidos versus empréstimos ao setor real (ativos) e depósito versus capital (passivos) é dada por ¹⁰

a) Capital:

$$C^j = -\alpha^j \frac{1 - \beta^j}{1 - \alpha^j} \quad (1.2)$$

b) Depósitos:

$$D^j = -1 \quad (1.3)$$

c) Ativo líquido:

$$L^j = \beta^j \quad (1.4)$$

d) Empréstimo ao:

$$R^j = \frac{1 - \beta^j}{1 - \alpha^j} \quad (1.5)$$

1.2.3 Esquema de aprendizado

Em $t = 0$, uma vez que ainda não existe nenhuma informação associada a uma dada estratégia, todas elas tem a mesma probabilidade de serem escolhidas.

Quando $t \neq 0$, assume-se que o banco escolhe sua estratégia de acordo com a função de atração ponderada pela experiência (*Experience Weighted Attraction (EWA)*) introduzida por Camerer e Ho (1999). Este modelo captura dois atributos básicos do aprendizado adaptativo, quais sejam a lei do efeito atual e a lei do efeito simulado. A lei do efeito atual assume que ações que foram bem sucedidas no passado são mais frequentemente escolhidas do que aquelas que não foram bem sucedidas. Por outro lado, a lei dos efeitos simulados assume que ações que não foram escolhidas no passado, mas poderiam ter sido bem sucedidas também são mais frequentemente escolhidas.

De forma a descrever o mecanismo de aprendizado, define-se a função de atração A_w^j do banco j como a lucratividade acumulada ao longo do tempo¹¹ associada com a estratégia w . Mais especificamente, define-se o lucro do banco j no ciclo t (Π_t^j) e sua lucratividade (π_t^j) como

$$\Pi_t^j = C_1^j - C_3^j, \quad (1.6)$$

¹⁰Equações 1.2 to 1.5 são derivadas das seguintes relações: i) $\alpha^j = -C^j/R^j$, ii) $\beta^j = -L^j/D^j$, iii) $D^j = -1$ e iv) $L^j + R^j = -(D^j + C^j)$.

¹¹Tempo aqui está associado aos ciclos de simulação.

e

$$\pi_t^j = -\frac{\Pi_t^j}{C_1^j}, \quad (1.7)$$

em que C_1^j e C_3^j são respectivamente o capital do banco no período 1, após ele escolher sua estratégia, e no fim do período 3, após o vencimento dos empréstimos para o setor real.

Dependendo se a estratégia foi usada ou não, é usada a estratégia atual ou a estratégia simulada para calcular A_w^j . Como em Camerer e Ho (1999) e Pouget (2007), essas funções de atração são transformadas em probabilidades por meio de um modelo logit

$$P_w^j = \frac{\exp(A_w^j)}{\sum_{i=1}^W \exp(A_i^j)}, \quad (1.8)$$

em que W é o número de ações disponíveis. Desta forma, o banco j escolhe a ação w com probabilidade P_w^j .

1.3 Infraestrutura de mercado

Como em Diamond e Dybvig (1983), Allen e Gale (1998) e Allen e Gale (2000) os bancos sofrem um choque de liquidez no período 2 devido aos depositantes impacientes. Define-se Ls_t^j como a liquidez disponível do banco j no ciclo t após o choque de liquidez. Assim

$$Ls_t^j = L_t^j + s_t^j * D_t^j, \quad (1.9)$$

em que L_t^j é o montante de ativos líquidos e D_t^j o montante de depósitos do banco j antes do choque (s_t^j é o choque de liquidez, ou a percentagem de depositantes impacientes).

Se um banco não tem liquidez suficiente para cobrir esses saques ($Ls_t^j < 0$), ele precisa tomar emprestado ou no mercado interbancário (de outros bancos com excesso de liquidez, ou $Ls_t^j > 0$) ou do Banco Central (atuando com emprestador de última instância) com taxas de juros punitivas. Neste modelo, existem dois tipos de infraestrutura de mercado interbancário:

1.3.1 Mercado interbancário sem câmara

O mercado interbancário prioriza contratos entre bancos que jogam estratégias mais seguras¹². Para isso, os bancos são divididos em duas diferentes filas: aqueles com falta de liquidez que querem tomar recursos emprestados (devedores, $Ls_t^j < 0$) e aqueles com excesso de liquidez que querem emprestar dinheiro (credores, $Ls_t^j > 0$). Cada fila é ordenada de acordo com os valores de α^j . Quanto maior o valor de α^j , maior a prioridade do banco j . Se existe um empate entre dois ou mais bancos, quanto maior o valor de β^j maior a prioridade do banco j . Como mostra os exemplos das tabelas 4 e 5, os bancos melhores posicionados nas duas filas liquidam seus contratos de empréstimo primeiro, seguidos dos bancos piores posicionados. Nesta configuração, bancos em ambas as filas podem liquidar seus contratos com múltiplos bancos, mas eles não podem ter posições de crédito ou de débito ao mesmo tempo. Se o valor agregado de demanda por liquidez supera a oferta ($\sum_j Ls_t^j < 0$), os bancos piores posicionados tomam empréstimos do Banco Central. Pelo contrário, no caso de excesso de oferta sobre a demanda ($\sum_j Ls_t^j > 0$), os credores piores classificados mantem os recursos não emprestados como ativos líquidos até o terceiro período.

Tabela 4: Filas dos tomadores e emprestadores

| Emprestadores | Oferta | Tomadores | Demanda |
|----------------------|--------|------------------|---------|
| <i>Emprestador 1</i> | 100 | <i>Tomador 1</i> | 150 |
| <i>Emprestador 2</i> | 30 | <i>Tomador 2</i> | 50 |
| | | <i>Tomador 3</i> | 80 |

Tabela 5: Contratos (sem câmara)

| Emprestador | Tomador | Valor |
|----------------------|------------------|-------|
| <i>Emprestador 1</i> | <i>Tomador 1</i> | 100 |
| <i>Emprestador 2</i> | <i>Tomador 1</i> | 30 |
| <i>Banco Central</i> | <i>Tomador 1</i> | 20 |
| <i>Banco Central</i> | <i>Tomador 2</i> | 50 |
| <i>Banco Central</i> | <i>Tomador 3</i> | 80 |

1.3.2 Mercado interbancário com câmara

Uma câmara é um conjunto de instrumentos, procedimentos e regras que regula a transferência de fundos entre os participantes do sistema. Em muitos casos, ela pede

¹²Enquanto essa assunção faz sentido e implementa a disciplina de mercado, uma vez que os bancos preferem emprestar recursos para bancos mais seguros, resultados empíricos também mostram que bancos estabelecem relações de longo prazo neste mercado. Para detalhes deste comportamento, veja Cocco, Gomes e Martins (2009).

colateral de seus participantes de forma a garantir a liquidação de suas obrigações mesmo no evento da inabilidade de pagar de um ou mais participantes, diminuindo a possibilidade de risco sistêmico. Nesse modelo, assume-se que a inclusão da câmara modifica o mercado interbancário nos seguintes aspectos:

- a) A câmara assume o papel de contraparte central de todos os contratos de empréstimos. Assim, todos os contratos bilaterais são feitos entre o banco e a câmara, e não mais entre os bancos;
- b) Bancos que querem tomar recursos emprestados no mercado interbancário precisam comprometer uma certa quantidade de recursos para um fundo mutualizado. O tamanho deste fundo precisa ser grande o suficiente para cobrir a inadimplência do participante com a maior posição devedora na câmara^{13,14}. É importante notar que os recursos precisam estar disponíveis apenas no terceiro período, após o vencimento dos empréstimos para o setor real; e
- c) Como no caso anterior, pode existir um desequilíbrio entre a oferta e a demanda por liquidez no mercado interbancário. De forma a priorizar quais empréstimos vão ser liquidados por meio da câmara, utiliza-se o mesmo procedimento utilizado no caso do mercado interbancário sem câmara, exceto pelo fato de que a ordem nas duas filas é aleatória. Isto pode ser justificado pela presença do fundo mutualizado que cobre (ao menos parcialmente) as perdas devido a inadimplência de banco, trazendo mais proteção para os participantes.

As Tabelas 6 e 7 mostram um exemplo de como contratos entre os bancos e a câmara são feitos.

Os procedimentos da câmara são descritos por meio da seguinte sequência de passos:

1. No período 2, banco j sofre um choque de liquidez de consumidores impacientes. Ele então notificará a câmara de seu excesso ou da sua falta de liquidez. Este

¹³A lógica por trás do tamanho do fundo vem do documento "Core Principles for Systemically Important Payment System" (BIS, 2001) que indica, no seu princípio fundamental V, que "um sistema com compensação multilateral deve, no mínimo, assegurar a liquidação tempestiva dos pagamentos mesmo na eventualidade da inadimplência do participante com a maior posição devedora".

¹⁴Um fundo similar, *The Liquidity Funding and Collateralisation Agreement (LFCA)*, foi introduzido em 2005 pelas câmaras inglesas BACS e C&CCC. O LFCA permite que obrigações de pagamento existentes de um banco inadimplente na BACS ou na C&CCC sejam liquidadas tempestivamente no Bank of England, usando recursos recolhidos junto aos outros membros da BACS ou da C&CCC. O fundo é limitado, tanto em termos de valor absoluto quanto no número de falhas simultâneas, mas ele cobre a maior posição devedora observada no ano anterior tanto na BACS quanto na C&CCC (source: www.paymentscouncil.org.uk)

Tabela 6: Filas dos tomadores e emprestadores

| Emprestadores | Oferta | Tomadores | Demanda |
|----------------------|--------|------------------|---------|
| <i>Emprestador 1</i> | 100 | <i>Tomador 1</i> | 150 |
| <i>Emprestador 2</i> | 30 | <i>Tomador 2</i> | 50 |
| | | <i>Tomador 3</i> | 80 |

Tabela 7: Contratos (com câmara)

| Emprestador | Tomador | Valor |
|----------------------|------------------|-------|
| <i>Emprestador 1</i> | Câmara | 100 |
| <i>Emprestador 2</i> | Câmara | 30 |
| Câmara | <i>Tomador 1</i> | 130 |
| <i>Banco Central</i> | <i>Tomador 1</i> | 20 |
| <i>Banco Central</i> | <i>Tomador 2</i> | 50 |
| <i>Banco Central</i> | <i>Tomador 3</i> | 80 |

valor é Ls_t^j , e assumem-se valores positivos como excesso de liquidez (o banco quer emprestar recursos) e valores negativos como falta de liquidez (o banco que tomar recursos emprestados).

2. A câmara pede aos bancos com $Ls_t^j < 0$ para comprometer recursos para o fundo mutualizado. O valor agregado do fundo é igual ao valor absoluto do menor Ls_t^j ¹⁵. A fração de cada participante no fundo é dada por

$$G^j = \frac{-Ls_t^j}{\sum_{\forall i, \text{ with } Ls_t^i < 0} Ls_t^i} \cdot \min(Ls_t^j). \quad (1.10)$$

3. No período 3, após a realização dos retornos nos empréstimos para o setor real, bancos cujas perdas excedem seu nível de capital (ou seja, tornam-se insolventes) e são devedores no mercado interbancário ficam inadimplentes neste mercado¹⁶. O tamanho da inadimplência será dado pelo tamanho da sua perda nos empréstimos para o setor real menos o valor do capital.
4. Uma vez que um banco fica inadimplente, a câmara usará primeiro os recursos desse banco comprometidos para o fundo mutualizado¹⁷. Se esses recursos não forem suficientes para cobrir suas perdas no mercado interbancário, a câmara utilizará as contribuições dos demais bancos, proporcionalmente a contribuição de cada banco.

¹⁵Note que todos os bancos que provêm colateral tem valores negativos de Ls_t^j .

¹⁶Considera-se que os empréstimos interbancários têm prioridade menor de reembolso do que depósitos e empréstimos do Banco Central.

¹⁷Esses recursos não estão sujeitos ao nível de prioridade de reembolso em caso de inadimplência e são completamente utilizados para cobrir a posição do banco no mercado interbancário.

1.4 Sequência de eventos do modelo

A sequência de eventos do modelo considera as seguintes questões:

- a) O modelo deve diferenciar classes de ativos em termos de sua liquidez, mais especificamente ativos líquidos, empréstimos interbancários e empréstimos para o setor real;
- b) Deve considerar o comportamento dos bancos em financiar investimentos de longo prazo com recursos de curto prazo;
- c) Deve considerar que os bancos estão sujeitos a choques de liquidez e devem planejar adequadamente sua necessidade de liquidez; e
- d) Deve ser desenhado de forma a possibilitar a avaliação do lucro associado a cada estratégia para a atualização das funções de atração.

Cada ciclo de simulação é composto por três períodos. Abaixo, é listada a sequência de ações que acontecem a cada período:

Período 1: Hoje

1. Todos os bancos, incluindo aqueles que ficaram insolventes no ciclo anterior, começam com depósitos de 1 unidade;
2. Bancos escolhem uma nova estratégia (α^j, β^j) com base no esquema de aprendizado; e
3. De acordo com a estratégia escolhida, o montante de capital e depósitos (Eqs. 1.2 and 1.3) e ativos líquidos e empréstimos para o setor real (Eqs. 1.4 e 1.5) são determinados.

Período 2: Curto prazo

1. Bancos atualizam o valor de seus depósitos (de acordo com seu custo) e recebem um choque de liquidez representado pelo percentual de depositantes impacientes que sacam seus recursos mais cedo;

2. Bancos com excesso de liquidez relativo ao tamanho do choque de liquidez irão emprestar a diferença no mercado interbancário (credores). Da mesma forma, aqueles com falta de liquidez (também relativo ao tamanho do choque de liquidez) irão tomar emprestado a diferença no mercado interbancário (devedores); e
3. Os bancos credores que não conseguem emprestar todos os recursos disponíveis no mercado interbancário mantêm o valor residual até o terceiro período e não recebem nenhum juros por ele. Da mesma forma, os bancos devedores que não conseguem tomar emprestado todos os recursos necessários no mercado interbancário irão tomar emprestado do Banco Central o valor residual a taxas punitivas.

Período 3: Longo prazo

1. Bancos atualizam o valor de seus depósitos, empréstimos interbancários e empréstimos do Banco Central de acordo com suas respectivas taxas de juros. Ocorre o vencimento dos empréstimos para o setor real e seus retornos são extraídos de uma distribuição de probabilidade log-normal (independentemente para cada banco);
2. Um banco pode se tornar insolvente se seu capital é completamente esgotado devido a perdas nos empréstimos para o setor real (de acordo com nossa convenção, o valor do capital torna-se positivo). Uma vez que um banco insolvente é detectado, uma penalidade é aplicada ao valor dos seus empréstimos para o setor real, depreciando-o ainda mais e criando uma não-linearidade entre os valores positivo e negativo de capital;
3. Se um banco é insolvente e tem uma posição devedora no mercado interbancário, pode existir contágio financeiro devido a perdas em seus empréstimos interbancários, uma vez que o banco inadimpla parcial ou completamente suas obrigações de pagamento nesse mercado (o tamanho desta perda depende do valor (positivo) do capital e se existe ou não uma câmara). A existência de contágio é avaliada e todos os bancos afetados (ou seja, que também se tornaram insolventes) recebem uma penalidade nos seus empréstimos para o setor real; e
4. Bancos atualizam suas lucratividades atual (com base na estratégia utilizada no ciclo) e simuladas (com base em cada uma das demais estratégias não utilizadas no ciclo). A lucratividade do banco é dada pela Eq. 1.7 . De forma a calcular a lucratividade simulada de um banco associada a outra estratégia não utilizada no ciclo, varia-se apenas a estratégia desse banco e mantém-se, para os demais bancos,

as mesmas estratégias escolhidas no Período 1, item 2. Essas profitabilidades são usadas para atualizar as funções de atração de cada estratégia.

2 *Resultados das Simulações*

2.1 Introdução

A apresentação dos principais resultados desta simulação está dividida em dois grupos. Na seção 2.2 são apresentados os resultados de experimentos que mostram como bancos respondem a mudanças nas variáveis de mercado (risco dos empréstimos para o setor real e volatilidade dos depósitos), variáveis de política (níveis de capitalização e de liquidez mínimos) e infraestrutura do mercado interbancário (sem mercado interbancário, mercado interbancário com câmara). Utilizam-se os resultados da simulação de uma configuração padrão como referência para comparação com os experimentos subsequentes. Para cada experimento, são realizados T ciclos de simulação e analisa-se a tendência do comportamento agregado do banco ao longo do tempo. Espera-se que após estes T ciclos de simulação, as estratégias dos bancos convirjam para a estratégia ótima. Em particular, nesta seção é apresentado o comportamento ao longo do tempo das seguintes variáveis: lucratividade média, nível de capitalização médio, nível de liquidez médio, valor agregado de empréstimos do Banco Central, valor agregado de empréstimos ao setor real, valor agregado de empréstimos interbancários.

Na seção 2.3 utilizam-se algumas configurações dos experimentos apresentados na seção 2.2 para realizar dois tipos de testes de estresse, a saber: i) testes macroeconômicos e ii) testes microeconômicos. Nos testes macroeconômicos multiplica-se a volatilidade dos retornos nos empréstimos para o setor real (sd_e) por quatro diferentes fatores de magnitude (2, 3, 4 e 5). No caso dos testes microeconômicos, a cada ciclo escolhe-se aleatoriamente um ou dois bancos que terão retorno negativo de 100% nos seus empréstimos para o setor real, ou seja, terão perda total nesses empréstimos. Repete-se este procedimento T_S vezes. Além disso, a cada ciclo considera-se que os bancos param de aprender e escolhem as estratégias baseadas nas funções de atração que eles encontraram após os T ciclos do experimento da seção 2.2. O objetivo aqui é testar a resiliência da rede financeira à choques não esperados, após o período de aprendizado em condições normais.

Tabela 8: Taxas de juros na configuração padrão (Experimento 0).

| Tipo de taxa | Símbolo | Valor |
|--|---------|-------|
| depósito | d | 0.2% |
| empréstimo interbancário | i | 0.3% |
| empréstimo <i>setor real</i> (média) | r_e | 1.006 |
| empréstimo <i>setor real</i> (<i>desvio</i> padrão) | sd_e | 0.015 |
| empréstimo <i>Banco Central</i> | b | 1.5% |

Em todos os experimentos abaixo, considera-se que o número de bancos é $N = 50$, $T = 2500$ e também $T_S = 2500$.

2.2 O comportamento dos bancos

Nesta seção, são apresentados 7 experimentos diferentes. O primeiro experimento é considerado o padrão e é usado como referência para os demais. Nos próximos dois experimentos discute-se brevemente a sensibilidade do modelo a mudanças nas variáveis de mercado (risco dos empréstimos para o setor real e volatilidade dos depósitos). Em seguida, discute-se o impacto no modelo de mudanças nas variáveis de política (níveis mínimos de capitalização e de liquidez) e, finalmente, na organização do mercado interbancário (sem mercado interbancário, mercado interbancário com câmara).

Para cada experimento, repete-se 30 vezes os T ciclos de simulação e apresenta-se a média desses resultados nas Figuras 1 a 6. Assim, cada ponto no tempo corresponde a média dos mesmos pontos no tempo das 30 simulações. Da mesma forma, o número de inadimplências e contágios são a média dos números encontrados nas 30 simulações.

2.2.1 Experimento 0: Configuração padrão

A configuração padrão assume a existência de um mercado interbancário sem uma câmara. A ordem das filas no mercado interbancário é determinada pelos níveis de capitalização e de liquidez dos bancos (disciplina de mercado). As taxas de juros (por período) nesta configuração são dadas pelos valores apresentados na tabela 8.

O choque de liquidez (ou a percentagem de depositantes impacientes que sacam seus recursos no período 2) para cada banco é retirado de uma distribuição uniforme com limites 24% - 36% ($s=30\%$ e $s_v=6\%$).

A penalidade no valor dos empréstimos para o setor real no evento de insolvência de

um banco ($p\%$) é fixada em 50%. Dessa forma, se um banco encontra-se insolvente (valor positivo de capital) antes da penalização, o valor dos seus empréstimos para o setor real será reduzido pela metade, aumentando suas perdas (e o valor positivo de capital).

Finalmente, assume-se que um banco j escolhe seu nível de capitalização α^j no intervalo de 5 – 15% em passos de 1% e seu nível de liquidez β^j no intervalo de 15 – 45% em passos de 3%.

Dado que esse experimento é utilizado como referência, seus resultados serão comparados como os dos demais experimentos desta seção.

2.2.2 Experimento 1: Maior risco dos empréstimos para o setor real

Neste experimento, aumenta-se a volatilidade dos retornos dos empréstimos para o setor real (sd_e) de 0.015 (experimento 0) para 0.025, mantendo todos os demais parâmetros idênticos aos do experimento 0.

A Figura 1 compara os valores médios e agregados das variáveis de interesse com os da configuração padrão (experimento 0). A Figura 1(b) mostra que os bancos aumentam seus níveis de capitalização de forma a suportar o maior risco dos empréstimos para o setor real, o que também impacta suas lucratividades (Figura 1(a)). Um resultado interessante deste experimento é o pequeno aumento no valor agregado de empréstimos para o setor real (Figura 1(e)), apesar de serem eles mais arriscados¹⁸.

Os resultados encontrados estão em linha com o verificado em sistemas financeiros reais. Ao se observar os diversos acordos de Basiléia¹⁹ que dão diretrizes para a regulamentação bancária, fica clara a relação explícita entre o capital regulatório mínimo e o risco dos ativos dos bancos. De forma geral, a filosofia adotada é a de que quanto maior o risco ao qual o banco está exposto, maior deve ser a quantidade de capital que o banco necessita para garantir sua solvência e a estabilidade econômica. O acordo de Basiléia II introduziu, inclusive, a possibilidade de os bancos utilizarem modelos internos próprios para dimensionar o risco a que estão expostos e, conseqüentemente, o capital necessário para suportar esses riscos. A regulação bancária não deixa de ser, portanto, reflexo da prática interna dos bancos. Diversos estudos (Bichsel e Blum (2001), Shrieves (1992)),

¹⁸Apesar de serem mais arriscados, seus retornos esperados são os mesmos que no experimento 0.

¹⁹Os acordos de Basiléia (Basiléia I, II e III) se referem a acordos de supervisão bancária, contendo recomendações para regulação do sistema financeira, emitidos pelo *Basel Committee on Banking Supervision* do BIS.

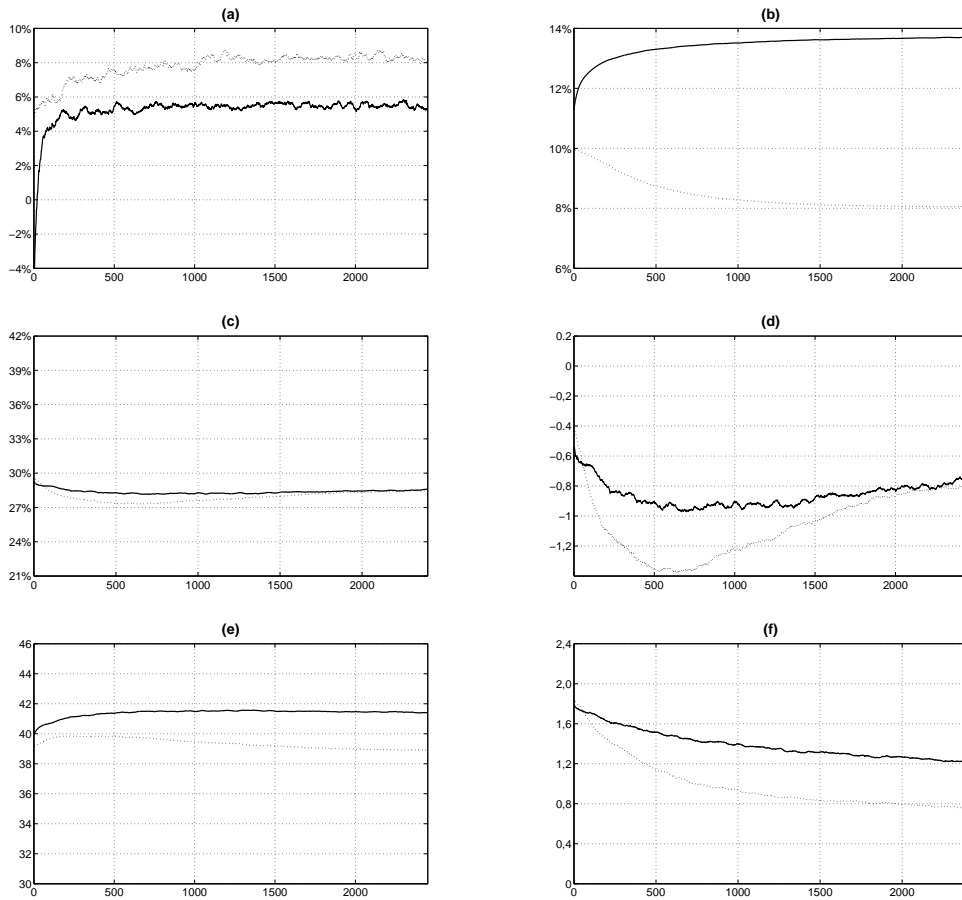


Figura 1: Resultados Experimento 1.

Compara-se as variáveis de média e agregadas do experimento com maior risco dos empréstimos para o setor real (Experimento 1 – linha sólida) com as do experimento da configuração padrão (Experimento 0 – linha pontilhada): Painel (a) mostra a lucratividade média; Painel (b) mostra o nível de capitalização médio; Painel (c) mostra o nível de liquidez médio; Painel (d) mostra o valor agregado de empréstimos do Banco Central; Painel (e) mostra o valor agregado de empréstimos para o setor real; Painel (f) mostra o valor agregado dos empréstimos interbancários. Todas as curvas foram suavizadas por uma janela de média móvel de tamanho 50.

utilizando dados de mercado, também mostram a existência de uma relação positiva entre mudanças de capital e mudanças de risco.

Destaca-se que o modelo apresentado permite calibrar o quão sensível é o banco a mudanças no risco de seus ativos. O parâmetro $p\%$ (seção 1.2.1) introduz a penalização adicional nos ativos do banco caso ele se torne insolvente. Por conta do mecanismo de aprendizado durante a simulação, quanto maior essa penalização, maior será a tendência de o banco evitar ficar insolvente, o que implicará naturalmente em níveis de capitalização mais altos para o mesmo risco de seus ativos.

2.2.3 Experimento 2: Maior volatilidade dos depósitos

Neste experimento, alteram-se os limites da distribuição uniforme usada para determinar o choque de liquidez de 24% - 36% para 18% - 42% ($s=30\%$ e $s_v=12\%$). Assim mantem-se a média em 30% e aumenta-se sua volatilidade. Todos os demais parâmetros são idênticos aos do experimento 0.

A Figura 2 compara os valores médios e agregados das variáveis de interesse com os da configuração padrão (experimento 0). Na Figura 2(c) pode-se observar que os bancos não alteram seus índices de liquidez devido ao aumento na volatilidade de depósitos, que permanece perto da média 30%. Esse resultado é esperado uma vez que o mercado interbancário permite a troca de liquidez entre os bancos conforme necessária. A Figura 2(f) mostra que o volume de empréstimos interbancários aumenta significativamente na medida que o diferencial de liquidez entre bancos credores e devedores no mercado interbancário aumenta.

Aqui também os resultados alcançados estão de acordo com o esperado. Um mercado interbancário em bom funcionamento permite a troca de liquidez entre os bancos. Mesmo submetidos a choques de liquidez mais severos, os bancos aprendem ao longo da simulação que poderão recorrer ao mercado interbancário para conseguir a liquidez necessária e, portanto, não aumentam seu nível de liquidez como forma de se protegerem de empréstimos de emergência junto ao Banco Central a taxas punitivas. O modelo aqui proposto reproduz de forma satisfatória a importância desse mercado para o sistema financeiro real e a dependência que alguns bancos têm desse mercado. Isso ficou mais evidente nas crises financeiras recentes (2007-2008). A paralização do mercado interbancário em virtude das incertezas com relação à qualidade dos ativos dos bancos e sua solvência fez com que bancos centrais no mundo intervissem fortemente nesse mercado para supri-lo com a liquidez necessária, e impedir que bancos, principalmente de menor porte e que dependiam dessa fonte de financiamento, viessem a falir.

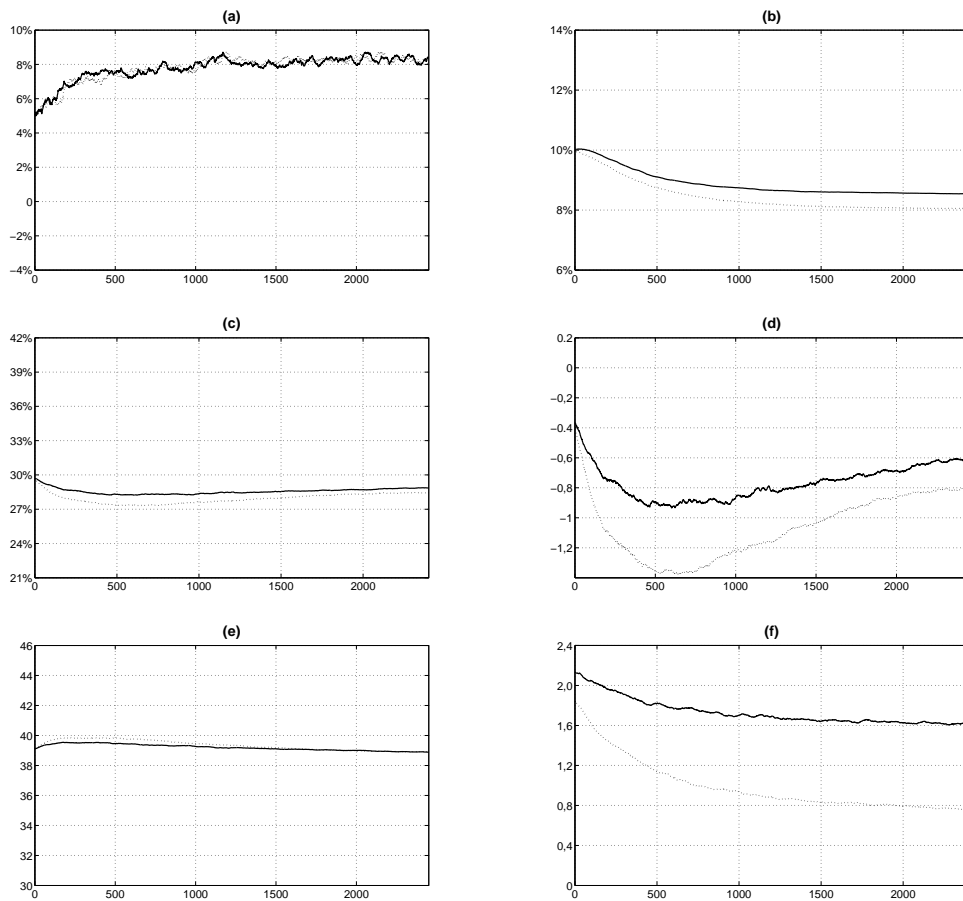


Figura 2: Resultados Experimento 2.

Comparam-se as variáveis de média e agregadas do experimento com maior volatilidade de depósitos (Experimento 2 – linha sólida) com as do experimento da configuração padrão (Experimento 0 – linha pontilhada): Painel (a) mostra a lucratividade média; Painel (b) mostra o nível de capitalização médio; Painel (c) mostra o nível de liquidez médio; Painel (d) mostra o valor agregado de empréstimos do Banco Central; Painel (e) mostra o valor agregado de empréstimos para o setor real; Painel (f) mostra o valor agregado dos empréstimos interbancários. Todas as curvas foram suavizadas por uma janela de média móvel de tamanho 50.

2.2.4 Experimento 3: Maior requerimento de nível de capitalização

Neste experimento, aumenta-se o nível de capitalização mínimo de 5% para 10%. Os bancos agora escolhem o parâmetro α^j dentro do intervalo 10 – 15% em passos de 1%, mantendo todos os demais parâmetros idênticos aos do experimento 0.

A Figura 3 compara os valores médios e agregados das variáveis de interesse com os da configuração padrão (experimento 0). A Figura 3(b) mostra que os bancos estão restritos pelo novo nível de capitalização mínimo e convergem para o mínimo valor permitido (10%). Deve-se notar na Figura 3(e) que o valor agregado de empréstimos para setor real não diminui apesar do aumento do nível de capitalização. Como o nível de capitalização é a relação entre capital e empréstimos para o setor real, depreende-se daí que os bancos decidem aumentar a quantidade de capital em vez de reduzirem seus empréstimos para setor real. Na Figura 3(a) também pode-se observar que a lucratividade dos bancos é levemente afetada pelo aumento do nível de capitalização, mas mostra menos volatilidade do que no caso padrão. Além das variáveis na Figura 3, também observa-se uma redução drástica no número de bancos que se tornam insolventes nos 2500 ciclos de simulação (média de 9 em 30 simulações) em comparação com a configuração padrão (média de 235 em 30 simulações).

Os resultados apresentados mostram que o modelo reproduziu bem os efeitos benéficos para a estabilidade financeira da existência de um 'colchão' de capital, que diminuiu de forma significativa a ocorrência de casos de insolvência. No entanto, o pequeno impacto que essa exigência extra de capital teve sobre os empréstimos para a economia real pode ser motivo de maiores estudos. Por simplicidade, optou-se por não incluir qualquer custo para a captação de capital pelos bancos, fato esse que pode tê-los levado a simplesmente aumentar o valor de capital (C^j) para se adequarem à nova exigência mínima de nível de capitalização (α^j). É claro que, mesmo sem custo, os bancos continuam com a tendência de ajustar seu nível de capitalização em um valor mínimo aceitável de forma a maximizar suas lucratividades.

Diversos estudos tem tentado avaliar qual o impacto que a exigência extra de capital tem sobre a capacidade de os bancos realizarem empréstimo para a economia real e sobre o crescimento econômico em geral, principalmente com o advento do acordo de Basileia III. Angelini e Clerc (2011) realizaram um estudo sobre o impacto econômico desse novo acordo, chegando a conclusão de que a cada um por cento de aumento no nível de capitalização o crescimento da atividade econômica é reduzida em 0.09 por cento. Slovik

e Cournède (2011) também chegaram a valores semelhantes, onde Basileia III pode reduzir o crescimento do produto interno bruto (PIB) na faixa de 0.05 a 0.15 por cento. No entanto, o trabalho argumenta que esse impacto pode ser anulado por meio de uma política monetária com taxas de 30 a 80 pontos-base menores. Em virtude do exposto, entendemos que o modelo pode ser modificado de forma a reproduzir melhor o possível impacto da exigência de capital sobre a economia real.

Tendo em conta o que foi dito no parágrafo anterior, e com base apenas nos resultados encontrados neste modelo, entende-se que o aumento do requerimento de capital além do nível normalmente escolhido pelos bancos (sem nenhuma restrição) é em sua grande parte benéfico para a estabilidade financeira. Ele afeta o sistema reduzindo o número de insolvências e diminuindo a incerteza na lucratividade dos bancos. Ademais, aparentemente ele não tem grande impacto no nível de empréstimos para o setor real.

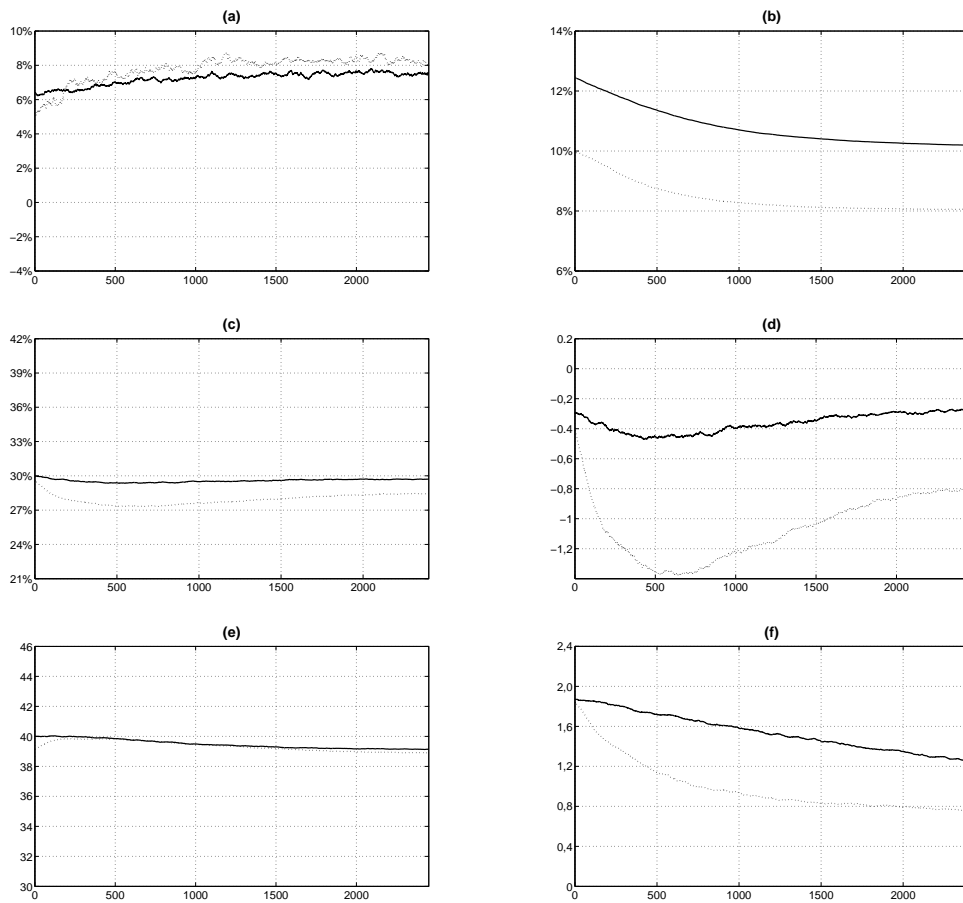


Figura 3: Resultados Experimento 3.

Comparam-se as variáveis de média e agregadas do experimento com maior requerimento de nível de capitalização (Experimento 3 – linha sólida) com as do experimento da configuração padrão (Experimento 0 – linha pontilhada): Painel (a) mostra a lucratividade média; Painel (b) mostra o nível de capitalização médio; Painel (c) mostra o nível de liquidez médio; Painel (d) mostra o valor agregado de empréstimos do Banco Central; Painel (e) mostra o valor agregado de empréstimos para o setor real; Painel (f) mostra o valor agregado dos empréstimos interbancários. Todas as curvas foram suavizadas por uma janela de média móvel de tamanho 50.

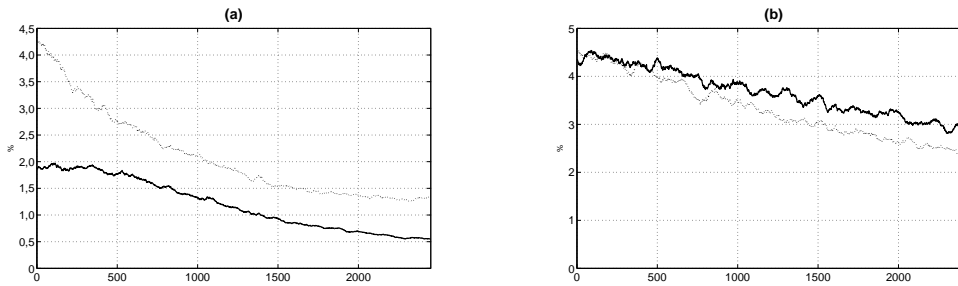


Figura 4: Resultados Experimento 3 - Desvio padrão.

Compara-se o desvio padrão (como um percentual da média) dos níveis de capitalização e de liquidez do experimento 3 (linha sólida) com o experimento 0 (linha tracejada): Painel (a) mostra o desvio padrão do nível de capitalização; Painel (b) mostra o desvio padrão do nível de liquidez. Todas as curvas foram suavizadas por uma janela de média móvel de tamanho 50.

A Figura 4 mostra a evolução do desvio padrão (como um percentual da média) dos parâmetros níveis de capitalização e de liquidez do experimento 3. A cada ciclo, calcula-se o desvio padrão das 30 amostras desses parâmetros retiradas das simulações. Pode-se observar que, em ambos os casos, o desvio padrão é muito pequeno em relação à média, implicando pouca variação entre as simulações. Pode-se observar também que a tendência é de que o valor desses parâmetros caia ainda mais uma vez que os bancos continuam aprendendo e as curvas tendem a um valor estacionário.

2.2.5 Experimento 4: Maior requerimento de nível de liquidez

Neste experimento, aumenta-se o nível de liquidez mínimo de 15% para 33%. Os bancos agora escolhem o parâmetro β^j dentro do intervalo 33 – 45% em passos de 3%, mantendo todos os demais parâmetros idênticos aos do experimento 0.

A Figura 5 compara os valores médios e agregados das variáveis de interesse com os da configuração padrão (experimento 0). A Figura 5(c) mostra que os bancos estão restritos pelo novo limite do nível de liquidez que por sua vez converge para o mínimo valor possível (33%). Pode-se ver que o aumento no nível de liquidez ocorre às custas do nível agregado de empréstimos para o setor real (Figura 5(e)), que decresce de forma a aumentar a quantidade de ativos líquidos. Esse tipo de comportamento não é presente nos resultados do experimento 3, quando o nível mínimo de capitalização é aumentado.

Por outro lado, a Figura 5(d) mostra que o requerimento de um nível de liquidez mais alto elimina os empréstimos emergenciais do Banco Central, o que pode explicar porque a lucratividade dos bancos (Figura 5(a)) manteve-se a mesma apesar da redução

nos empréstimos para o setor real. Como todos os bancos são forçados a manter mais liquidez, eles raramente precisam acessar o mercado interbancário para conseguir liquidez, o que explica a queda no volume destes empréstimos (Figura 5(f)).

O número de bancos que se tornam insolventes ao longo da simulação fica próximo daquele verificado na configuração padrão (225 contra 235, respectivamente, na média de 30 simulações). Contudo, o número de bancos que se tornam insolventes devido à contágio cai de 22 (média em 30 simulações) no experimento 0 para menos que 1 (média em 30 simulações) neste experimento. Isto é esperado, já que a queda no nível agregado de empréstimos interbancários (Figura 5(f)) reduz o impacto de uma inadimplência de um banco sobre os demais.

De todos os resultados, aquele que mostra a redução dos empréstimos para economia real com o aumento do nível mínimo de liquidez talvez seja o principal a ser comparado com o observado no sistema financeiro real. A propósito, o acordo de Basiléia III aborda essa questão, ao introduzir um novo parâmetro de liquidez chamado *liquidity coverage ratio* (LCR). O LCR identifica o valor de ativos altamente líquidos que o banco possui e que pode ser usado para cobrir sua necessidade de liquidez de curto prazo em cenários de estresse agudos especificados pelo supervisor. Estudos como Bonner e Eijffinger (2011) sugerem que a introdução de um nível mínimo de LCR fará com que os bancos experimentem um aumento no custo médio de suas fontes de financiamento, uma vez que eles serão obrigados a diminuir a maturidade de seus ativos (ou seja, torná-los mais líquidos) e, conseqüentemente, seus retornos. Nesse aspecto, o modelo captura bem a transição de ativos ilíquidos para ativos líquidos.

De forma geral, os resultados neste experimento mostram que o uso de níveis de liquidez mais altos, ainda que bem sucedido no sentido de reduzir a dependência dos bancos de empréstimos de emergência, também reduz sua capacidade de emprestar para o setor real da economia, e precisa ser tratado com cuidado.

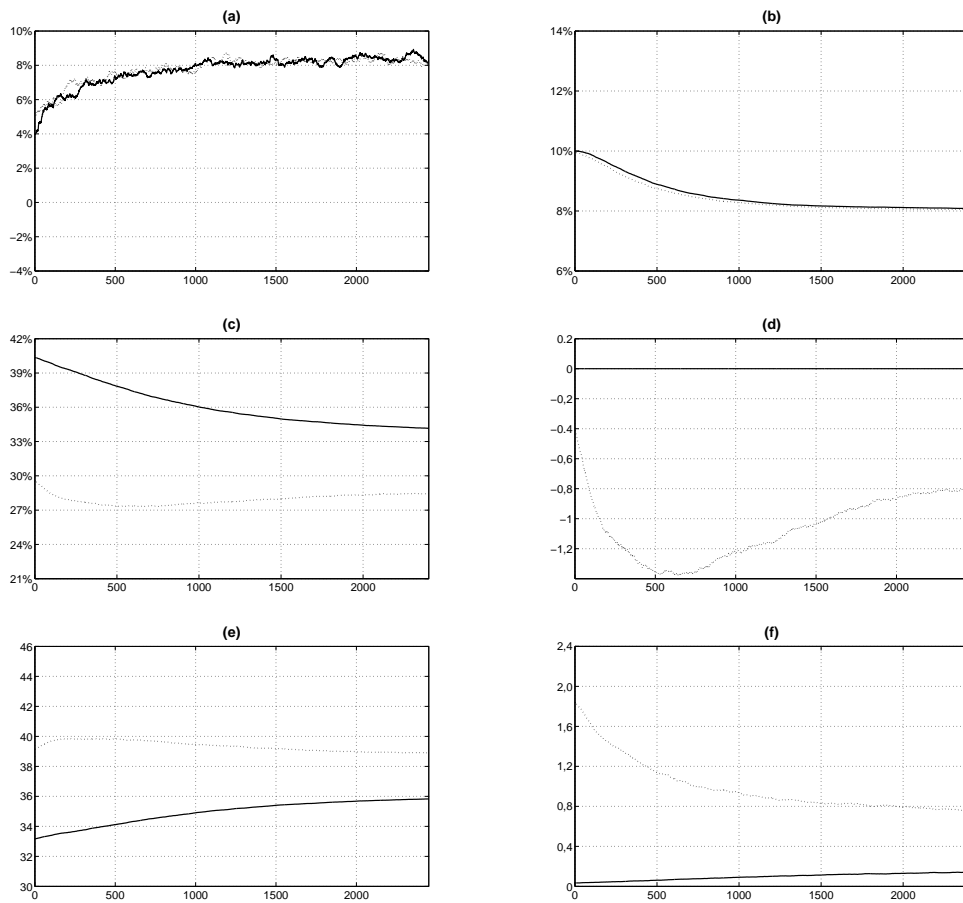


Figura 5: Resultados Experimento 4.

Comparam-se as variáveis de média e agregadas do experimento com maior requerimento de nível de liquidez (Experimento 4 – linha sólida) com as do experimento da configuração padrão (Experimento 0 – linha pontilhada): Painel (a) mostra a lucratividade média; Painel (b) mostra o nível de capitalização médio; Painel (c) mostra o nível de liquidez médio; Painel (d) mostra o valor agregado de empréstimos do Banco Central; Painel (e) mostra o valor agregado de empréstimos para o setor real; Painel (f) mostra o valor agregado dos empréstimos interbancários. Todas as curvas foram suavizadas por uma janela de média móvel de tamanho 50.

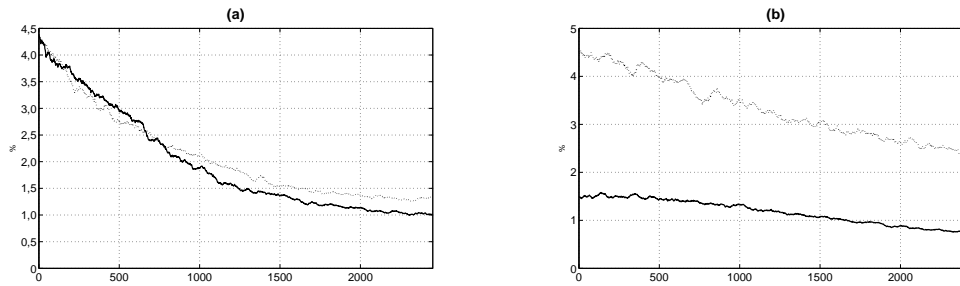


Figura 6: Resultados Experimento 4 - Desvio padrão.

Compara-se o desvio padrão (como um percentual da média) dos níveis de capitalização e de liquidez do experimento 3 (linha sólida) com o experimento 0 (linha tracejada): Painel (a) mostra o desvio padrão do nível de capitalização; Painel (b) mostra o desvio padrão do nível de liquidez. Todas as curvas foram suavizadas por uma janela de média móvel de tamanho 50.

A Figura 6 mostra a evolução do desvio padrão (como um percentual da média) dos parâmetros níveis de capitalização e de liquidez do experimento 4. Como no experimento anterior, a cada ciclo calcula-se o desvio padrão das 30 amostras desses parâmetros retiradas das simulações. O comportamento dessas variáveis é análogo ao comportamento das mesmas variáveis no experimento anterior.

2.2.6 Experimento 5: Sistema bancário sem mercado interbancário

Neste experimento, assume-se que não existe mercado interbancário, mantendo todos os demais parâmetros idênticos aos do experimento 0.

A Figura 7 compara os valores médios e agregados das variáveis de interesse com os da configuração padrão (experimento 0). A Figura 7(c) mostra que a falta de um mercado interbancário força os bancos a escolherem níveis de liquidez mais altos de forma a atingir o mesmo nível de dependência de empréstimos do Banco Central como o verificado no experimento 0 (Figura 7(d)). Isto também afeta a capacidade dos bancos de emprestarem para o setor real (Figure 7(e)). O número de bancos que se tornam insolventes ao longo da simulação diminui para 231 (média de 30 simulações), contra 235 da configuração padrão. Não existe contágio neste caso.

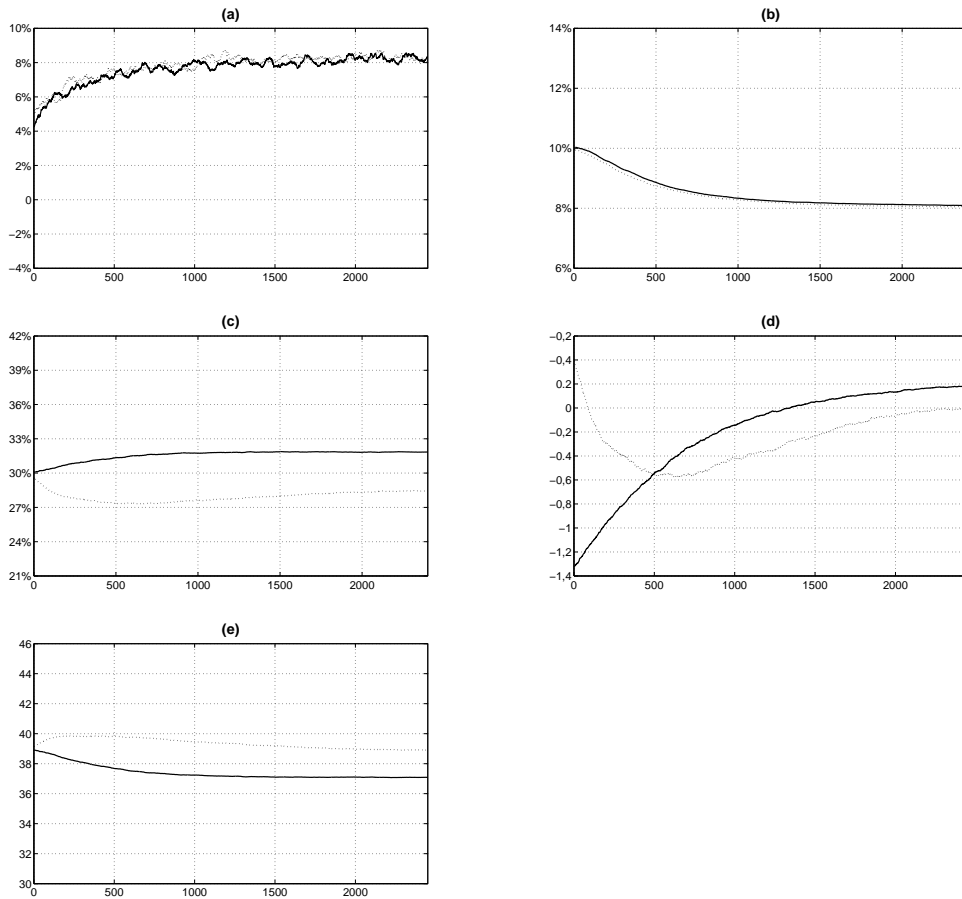


Figura 7: Resultados Experimento 5.

Comparam-se as variáveis de média e agregadas do experimento sem mercado interbancário (Experimento 5 – linha sólida) com as do experimento da configuração padrão (Experimento 0 – linha pontilhada): Painel (a) mostra a lucratividade média; Painel (b) mostra o nível de capitalização médio; Painel (c) mostra o nível de liquidez médio; Painel (d) mostra o valor agregado de empréstimos do Banco Central; Painel (e) mostra o valor agregado de empréstimos para o setor real. Todas as curvas foram suavizadas por uma janela de média móvel de tamanho 50.

2.2.7 Experimento 6: Sistema bancário com uma câmara interbancária

Neste experimento, considera-se um sistema bancário com uma câmara interbancária, mantendo todos os demais parâmetros idênticos aos do experimento 0.

A Figura 8 compara os valores médios e agregados deste experimento com os da configuração padrão (experimento 0). A introdução da câmara praticamente não tem efeito sobre as variáveis de lucratividade (Figura 7(a)), nível de capitalização (Figura 7(b)) e empréstimos para o setor real (Figura 7(e)). No entanto, altera-se a dinâmica dos empréstimos interbancários, com os bancos retendo desde o início da simulação níveis de liquidez mais próximos ao choque médio (Figura 7(c)), aumentando o volume de empréstimos no mercado interbancário (Figura 7(f)) e reduzindo a dependência de empréstimos do Banco Central (Figura 7(d)). Além disso, o número de bancos que se tornam insolventes ao longo da simulação cai de 235 no experimento 0 para 208 neste experimento (média de 30 simulações), sem qualquer ocorrência de contágio.

É interessante notar que a introdução da câmara, além do efeito esperado e compatível com o observado no sistema financeiro real de redução do contágio, também parece estimular o mercado interbancário. Algumas evidências sugerem que isto pode ocorrer, por exemplo, como no caso da Câmara de Câmbio da BM&FBOVESPA, que, desde sua introdução, passou a deter cerca de 70% do mercado de câmbio no Brasil. Uma possível melhoria para o modelo proposto de forma a aproximá-lo mais do caso real seria a introdução de custos adicionais para a operação da câmara. No momento, esses custos são representados basicamente pelas perdas potenciais que os bancos podem ter na sua contribuição para o fundo mutualizado.

A introdução da câmara interbancária claramente mitiga o risco sistêmico no sistema bancário sem afetar significativamente as demais variáveis de interesse (nível de capitalização, lucratividade dos bancos e empréstimos para o setor real). Como essa solução envolve algum tipo de mutualização de perdas, os obstáculos para sua implementação podem configurar uma falha de mercado que precisa ser endereçada por um agente coordenador externo como o Banco Central.

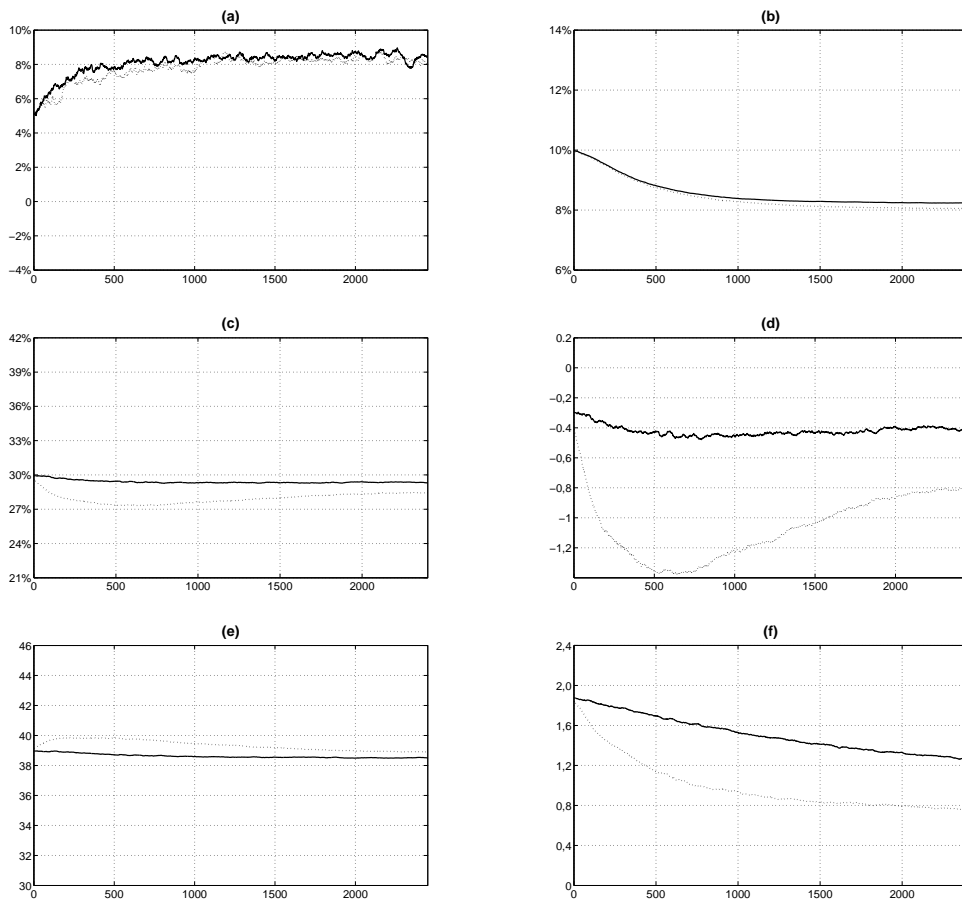


Figura 8: Resultados Experimento 6.

Comparam-se as variáveis de média e agregadas do experimento com câmara interbancária (Experimento 6 – linha sólida) com as do experimento da configuração padrão (Experimento 0 – linha pontilhada): Painel (a) mostra a lucratividade média; Painel (b) mostra o nível de capitalização médio; Painel (c) mostra o nível de liquidez médio; Painel (d) mostra o valor agregado de empréstimos do Banco Central; Painel (e) mostra o valor agregado de empréstimos para o setor real; Painel (f) mostra o valor agregado dos empréstimos interbancários. Todas as curvas foram suavizadas por uma janela de média móvel de tamanho 50.

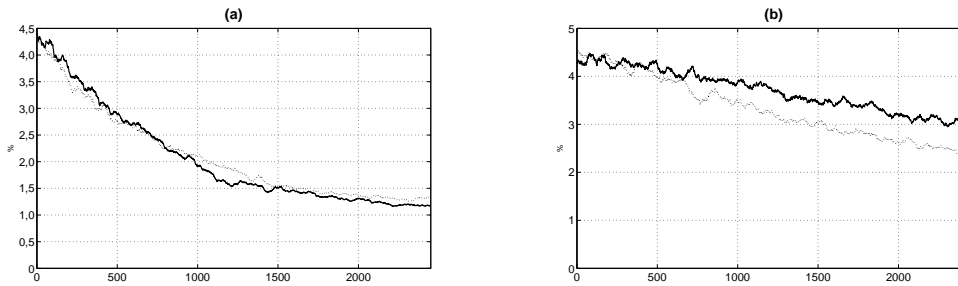


Figura 9: Resultados Experimento 6 - Desvio padrão.

Compara-se o desvio padrão (como um percentual da média) dos níveis de capitalização e de liquidez do experimento 3 (linha sólida) com o experimento 0 (linha tracejada): Painel (a) mostra o desvio padrão do nível de capitalização; Painel (b) mostra o desvio padrão do nível de liquidez. Todas as curvas foram suavizadas por uma janela de média móvel de tamanho 50.

A Figura 9 mostra evolução do desvio padrão (como um percentual da média) dos parâmetros níveis de capitalização e de liquidez do experimento 6. Como nos experimentos 3 e 4, a cada ciclo calcula-se o desvio padrão das 30 amostras desses parâmetros retiradas das simulações. O comportamento dessas variáveis é análogo ao comportamento das mesmas variáveis nestes experimentos anteriores.

2.3 Testes de estresse

Nesta seção, testa-se a resiliência do sistema bancário à choques inesperados. Usando o experimento 0 como referência e os demais experimentos relacionados a variáveis de política e de estrutura de mercado (experimentos 3, 4 e 6) Considera-se que os bancos utilizam as estratégias ótimas encontradas na seção 2.2 e continuam as utilizando sem aprendizado.

Repete-se o ciclo apresentado na seção 1.4 $T_S = 2500$ vezes sem atualizar as funções de atração de cada estratégia. O objetivo aqui não é o de testar como os bancos se adaptam ao novo ambiente mais arriscado, e sim colher dados estatísticos e comparar como os sistemas bancários formados nos experimentos prévios (representados pelas funções de atração dos bancos no último ciclo de simulação) reagem a choques inesperados.

Na primeira parte da seção são realizados testes de estresse macroeconômicos, nos quais é testada a resiliência do sistema bancário quando confrontado com um setor real mais arriscado que o da configuração padrão, i.e., o valor de sd_e (desvio padrão dos retornos dos empréstimos do setor real) é um múltiplo do mesmo valor na configuração padrão. Realiza-se a simulação para quatro diferentes níveis de gravidade do choque

Tabela 9: Testes de estresse macroeconômicos - insolvências por ciclo

| Experimentos | $sd_e \times 2$ | $sd_e \times 3$ | $sd_e \times 4$ | $sd_e \times 5$ |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 0: padrão | 3.2 | 8.0 | 11.6 | 14.3 |
| 3: maior nível de capitalização | 1.5 | 5.5 | 9.2 | 12.1 |
| 4: maior nível de liquidez | 3.6 | 8.4 | 12.2 | 14.7 |
| 6: câmara | 3.5 | 8.3 | 12.1 | 14.7 |

macroeconômico (ou valores de sd_e): duas, três, quatro e cinco vezes maior do que na configuração padrão.

Na segunda parte são realizados testes de estresse microeconômicos, nos quais testa-se a estabilidade do sistema bancário quando, a cada ciclo, bancos escolhidos aleatoriamente perdem todos seus empréstimos para o setor real (ou obtém retorno $r^j = -100\%$ nestes empréstimos). Realiza-se a simulação para dois tipos diferentes de severidade do choque microeconômico: no primeiro caso apenas um banco perde seus empréstimos para o setor real e no segundo caso dois bancos perdem seus empréstimos para o setor real.

Utiliza-se o número (por ciclo) de eventos de insolvência²⁰ e de contágio como uma *proxy* da resiliência do sistema bancário. Todos os resultados correspondem à média de 30 simulações de cada experimento.

2.3.1 Testes de estresse macroeconômicos

A Tabela 9 mostra os principais resultados dos testes de estresse macroeconômicos. Ainda que o maior nível de capitalização (experimento 3) reduza o número médio de insolvências por ciclo, este fenômeno é menos proeminente quanto mais severo é o choque. O mesmo acontece com o número de contágios por ciclo. Conclui-se que quanto mais severo é o choque, menos eficaz para a promoção da estabilidade financeira será o aumento do nível de capitalização tendo em conta o caso padrão (experimento 0).

Com relação ao número de contágios, pode-se ver que o arranjo com uma câmara de pagamento (experimento 6) é o mais eficaz, já que ele reduz para 0 o número de contágios mesmo no pior cenário. Mais ainda, ele alcança esse resultado mantendo o bom funcionamento do mercado interbancário, ao contrário do experimento com maior requerimento de nível de liquidez (experimento 2) que também reduz o número de contágios mas à custa do volume de empréstimos interbancários (Figura 5(f)).

²⁰Este número não inclui bancos que se tornam insolvente devido a contágio. Assim, o número total de bancos insolventes em um ciclo é a soma dos eventos de insolvência e contágio.

Tabela 10: Testes de estresse macroeconômicos - contágios por ciclo

| Experimentos | sd_{ex2} | sd_{ex3} | sd_{ex4} | sd_{ex5} |
|---------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| 0: padrão | 0.32 | 0.78 | 1.00 | 1.06 |
| 3: maior nível de capitalização | 0.15 | 0.60 | 0.91 | 1.03 |
| 4: maior nível de liquidez | 0.04 | 0.11 | 0.14 | 0.15 |
| 6: câmara | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabela 11: Testes de estresse microeconômicos - contágios por ciclo

| Experimento | Um banco | Dois bancos |
|---------------------------------|----------|-------------|
| 0: padrão | 0.107 | 0.206 |
| 3: maior nível de capitalização | 0.074 | 0.149 |
| 4: maior nível de liquidez | 0.002 | 0.003 |
| 6: câmara | 0 | 0 |

2.3.2 Testes de estresse microeconômicos

A Tabela 11 mostra os principais resultados dos testes de estresse microeconômicos. Neste teste, deseja-se avaliar como o sistema bancário se comporta diante de um choque severo mas limitado, ao contrário de um problema generalizado da economia. O mercado interbancário com câmara de pagamento (experimento 6) é novamente a maneira mais efetiva de reduzir o contágio, seguida pelo maior nível de capitalização (experimento 1), que também diminui o contágio, ainda que não na mesma magnitude.

2.4 Conclusões

É importante comparar os achados desse modelo com o que se verifica na literatura atual sobre o tema, avaliando também as diferenças estruturais dos modelos e as limitações ou flexibilidades que essas diferenças trazem para abordar os estudos realizados neste trabalho. Para isso, inicia-se com a descrição de alguns modelos mais simples e os resultados encontrados, caminhando então para modelos mais complexos de forma a situar o modelo aqui proposto nesta literatura.

Boss et al. (2004) e Boss, Summer e Thurner (2004) partem para uma análise empírica como forma de simular a estrutura de rede do mercado interbancário na Áustria. No primeiro trabalho, a modelagem da rede é feita por meio das relações interbancárias, que são as ligações entre os vértices (bancos), sendo que os resultados encontrados estão mais direcionados à análise da topologia dessa rede por meio da medição de alguns parâmetros como *clustering coefficient* ou o *average path length*. O segundo trabalho se aproveita da

rede interbancária empírica do primeiro, e inclui a possibilidade de choques exógenos para avaliar como ele se propaga na rede. O modelo é estático e os choques são implementados por meio de mudanças estocásticas em variáveis como taxa de juros, de câmbio e outras que afetam o portfólio ou a riqueza do banco. Se, após o choque, o banco não tiver recursos suficientes para realizar os pagamentos intrabancários previstos na rede empírica, o banco é declarado insolvente e o choque pode se propagar na rede. Com a insolvência, o modelo prevê inclusive um parâmetro semelhante ao parâmetro $p\%$ (penalização em caso de insolvência), descrito no modelo como a taxa de recuperação dos empréstimos. Os resultados encontrados indicam a alta estabilidade do sistema bancário austríaco, já que é reduzida a chance de que a inadimplência de um banco se espalhe para os demais. Esses resultados podem ser comparados com os resultados de teste de estresse da seção 2.3, que também apresentaram baixo índice de contágio. No entanto, para uma comparação mais precisa seria necessária a calibração do modelo aqui proposto de forma a melhor espelhar as condições encontradas no trabalho mencionado.

Hataj e Kok (2013) propõe um modelo que é dinâmico ao criar diversas possíveis redes interbancárias a partir de dados empíricos dos bancos, mas é estático ao simular choques e avaliar contágios em cada uma dessas redes criadas. A necessidade de se criar redes interbancárias simuladas advém da indisponibilidade de dados bilaterais precisos. Dados multilaterais e de localização geográfica, entre outros, são utilizados para criar um mapa de probabilidades de que um banco esteja conectado com outro, e a partir daí uma distribuição de possíveis redes interbancárias é gerada. O choque, no caso, é simplesmente a inadimplência total do banco no mercado interbancário. Os achados do modelo estão voltados à análise de quais redes geradas podem reduzir a solvência média do sistema devido ao contágio. Nesse sentido, eles indicam que na vasta maioria das redes simuladas o contágio sistêmico é insignificante. Novamente aqui, a comparação dos resultados com os deste modelo exigiria algum tipo de calibração que aproximasse as duas estruturas de rede formadas. Porém, entendemos que os modelos são mais próximos pois em um caso (Hataj e Kok (2013)), há uma distribuição possível de redes interbancárias retiradas de dados empíricos, no outro caso (modelo proposto) as redes formadas são geradas endogenamente mas estão ligadas a uma distribuição de probabilidade.

Em um modelo dinâmico de rede de bancos, Iori, Jafarey e Padilha (2006) introduzem algumas sofisticções, ao incluírem no balancete dos bancos tanto a existência de capital para suportar perdas em investimentos como a dicotomia entre investimentos de longo prazo vis-à-vis fontes de financiamento de curto prazo (depósitos), criando potenciais problemas de liquidez e aproximando-se mais do que foi feito neste trabalho. No entanto,

as conexões entre os bancos no mercado interbancário são determinadas de forma exógena e parametrizável, também por meio de uma matriz de probabilidades, podendo variar de uma situação sem mercado interbancário para uma situação onde é possível que todos os bancos estabeleçam conexões entre si. Os achados indicam que a existência de um mercado interbancário estabiliza o sistema, diminuindo o número de falhas em virtude da possibilidade de os bancos buscarem financiamento nesse mercado, e é compatível com o verificado no Experimento 5 deste trabalho, tendo em conta as seguintes pontos: (i) enquanto no modelo de Iori, Jafarey e Padilha (2006) contabiliza-se como falha um banco ilíquido, no modelo deste trabalho o banco só falha quando não há mais capital, em virtude da presença do Banco Central como emprestador de última instância para resolver problemas de liquidez dos bancos; (ii) não há aprendizado no modelo de Iori, Jafarey e Padilha (2006), de forma que os bancos não ajustam seus níveis de liquidez às condições de mercado. Assim, no Experimento 5, a inexistência do mercado interbancário provoca maiores empréstimos do Banco Central (ver Figura 7(d)), que somente são mitigados por meio do processo de aprendizado até que os bancos cheguem ao nível de liquidez ideal.

Finalmente, Arinaminpathy, Kapadia e May (2012) trazem para seu modelo dinâmico de rede de bancos três possíveis canais de contágio: (i) inadimplência de um banco no mercado interbancário (risco de crédito); (ii) empocamento de liquidez, onde os bancos, mesmo tendo recursos, não emprestam no mercado interbancário e (iii) queda no valor dos ativos comuns entre os bancos. No que se refere ao item (ii), modelou-se a perda de confiança de um banco em outro por meio de parâmetros que indicam a fragilidade financeira, que provocaria o encerramento antecipado de empréstimos interbancários. Adicionalmente, em seu modelo os bancos podem investir em diferentes classes de ativos, permitindo a diversificação de portfólio entre eles, além de poderem ter diferentes tamanhos (grandes e pequenos). Os choques são gerados reduzindo-se o valor dos ativos de um determinado banco, zerando seu capital ou desvalorizando uma determinada classe de ativos. A conexão no mercado interbancário entre os bancos é escolhida de forma aleatória e não há aprendizado, sendo que todos os bancos possuem os mesmos níveis de capitalização e de liquidez. Os resultados mostraram que, diante dos diversos tipos de choques aplicados à rede, os bancos grandes possuem uma importância sistêmica mais que proporcional ao seu tamanho. Ainda que esses resultados estejam mais relacionados à heterogeneidade dos bancos, que não foi o foco deste capítulo, ele contribuiu para as derivações a serem apresentadas no Capítulo 3, que justamente abordam uma rede com bancos de diferentes tamanhos e a possibilidade de empocamento de liquidez. Além disso, a estrutura do modelo, com o banco sendo caracterizado por seu balancete completo, se assemelha ao

utilizado neste trabalho.

De forma geral, entendemos que o modelo proposto se insere na literatura sobre o tema combinando algumas características comumente utilizadas em modelos computacionais de redes de bancos (como a caracterização dos bancos pelos balancetes, choques de liquidez na base de depósitos e nos ativos dos bancos) com a contribuição original da inserção do mecanismo de aprendizado, permitindo que as redes interbancárias sejam formadas endogenamente. Os resultados encontrados nas seções 2.2 e 2.3 foram próximos do que se observa no mundo real, e dividem os achados encontrados na literatura. Tendo em conta esses fatores e com base nesses resultados, crê-se que uma política que induza maior nível de capitalização e a implementação de uma câmara de pagamentos pode trazer a melhor relação custo-benefício entre o objetivo de aumentar a estabilidade financeira e o custo de sua implantação.

3 *Variações do Modelo*

3.1 Introdução

A intenção deste capítulo é a de mostrar a versatilidade do modelo do Capítulo 1 para se adaptar ao estudo de outras questões de interesse envolvendo uma rede de bancos. Para isso, são propostas duas variações do modelo original. Na primeira variação, introduzimos heterogeneidade entre os bancos, que deixam de ser do mesmo tamanho. Como será detalhado mais adiante, a diferenciação dos tamanhos se dá pelo valor da base de depósitos de cada banco no início do ciclo de simulação. O principal objetivo é avaliar se bancos de diferentes tamanhos também se comportam de forma diferente, no que tange a escolha dos seus níveis de capitalização e de liquidez ótimos.

Na segunda variação, os bancos voltam a ser homogêneos, mas introduzimos um novo parâmetro que dá a eles a possibilidade de reterem liquidez excedente que de outra forma seria disponibilizada para empréstimo no mercado interbancário. A intenção aqui é estudar o grau de sensibilidade desse parâmetro representativo do empoçamento de liquidez às condições de risco macroeconômicas.

3.2 Bancos de diferentes tamanhos

Dentro do objetivo das autoridades financeiras de reduzir o risco sistêmico, uma questão pertinente que tem ganhado destaque é a de como mensurar a importância relativa de bancos de diferentes tamanhos dentro de um sistema bancário. Particularmente crítico é como determinar que bancos podem ser considerados muito grandes para falhar, ou *to big to failure*, e, mais ainda, de que forma as políticas regulatórias devem atuar para internalizar as externalidades negativas trazidas por esses bancos. É de se notar que bancos percebidos no mercado como muito grandes para falhar podem se beneficiar deste fato, com taxas de captação menores e maior apetite ao risco.

Como já mencionado, Arinaminpathy, Kapadia e May (2012) exploraram esse assunto por meio de um modelo dinâmico simplificado de um sistema bancário, combinando três possíveis diferentes canais de contágio de um banco para outro: empoçamento de liquidez, contágio por preço dos ativos dos bancos e a propagação de falhas no mercado interbancário. Sua conclusão principal foi a de que a importância relativa de bancos grandes, bem conectados, aumenta mais que proporcionalmente ao seu tamanho, e que a imposição de exigências de capital mais severas para esses bancos melhora a resiliência do sistema. Cajueiro, Tabak e Serra (2009) também abordaram o tema, de uma forma empírica, ao estudarem a topologia da estrutura da rede interbancária brasileira. Verificaram que bancos grandes atuam como *money centers*, ou bancos que tomam emprestado e emprestam para outros bancos, e são uma importante fonte de financiamento no mercado interbancário. Também desenvolveram uma metodologia para medir a importância relativa dos bancos no mercado interbancário, concluindo que bancos de varejo tem uma importância crucial nesse mercado.

Aproveitando a natureza endógena da formação das redes interbancárias e a capacidade de aprendizado dos bancos na escolha dos seus níveis de capitalização e de liquidez ótimos, essa variação do modelo original, ao introduzir bancos com diferentes tamanhos, tem como objetivo principal responder a algumas questões pertinentes: sem restrições regulatórias, bancos grandes e pequenos se diferenciam nas escolhas de seus níveis de capitalização e de liquidez ótimos? Os bancos grandes naturalmente assumem uma função de *money centers*? A resposta a essas questões podem dar subsídio para a criação de políticas regulatórias que promovam a estabilidade financeira.

3.2.1 Descrição do modelo

Essa variação do modelo original do capítulo 1 segue exatamente a mesma estrutura, exceto por dois aspectos. Primeiramente, permitimos a existência de dois tipos de bancos, pequenos e grandes. A diferenciação de tamanho entre os bancos é dada pelo tamanho inicial, a cada ciclo, da base de depósitos (D^j) de cada um dos tipos de bancos. Seguindo estrutura proposta em Arinaminpathy, Kapadia e May (2012), os bancos "grandes" serão k -vezes maiores, ou seja, terão uma base de depósitos k -vezes maior do que a dos pequenos, mas existirão em um número k -vezes menor. Essa formulação permite controlar a concentração de depósitos no sistema bancário a partir do parâmetro k .

Escolhe-se o valor de $k = 9$, assim o número de bancos grandes é dado por $Ng = 5$ e o de pequenos por $Np = 45$, mantendo, portanto, o número total de $N = 50$ bancos.

Além disso, no início de cada ciclo, o valor de depósitos dos bancos grandes será igual a $D^j = 9$ e dos bancos pequenos igual $D^j = 1$.

O segundo aspecto que diferencia este modelo do original diz respeito ao choque de liquidez. Enquanto no modelo do capítulo 1 (seção 1.2.1) escolhia-se o choque de liquidez dos bancos a cada ciclo (s_t^j) de forma que o choque de liquidez médio fosse exatamente igual à média da distribuição uniforme $[(s - s_v)\%, (s + s_v)\%]$ (parâmetro $s\%$), neste modelo, ainda que também se sorteie o valor do choque de liquidez a partir da mesma distribuição, não há qualquer ajuste para que o choque de liquidez médio se iguale à média da distribuição.

Isto acontece pois, no capítulo 1, em virtude da homogeneidade dos bancos, o controle sobre o choque de liquidez médio permitia determinar exatamente o nível de liquidez ótimo que equilibrava oferta e demanda de recursos no mercado interbancário, de forma que os bancos não necessitassem de empréstimos do Banco Central, e comparar esse valor com o resultado da simulação. Já nesta variação de modelo, o choque de liquidez médio (sem ponderação pelo tamanho) não necessariamente se igualará ao nível de liquidez que equilibra a oferta e demanda de recursos no mercado interbancário, já que esse valor dependerá do choque de liquidez que atingiu os bancos grandes vis-à-vis os pequenos.

3.2.2 Experimento

Para a realização desse experimento, utiliza-se a mesma configuração do experimento 0: configuração padrão (seção 2.2.1). Utiliza-se o número de 5000 ciclos de simulação para observar de forma mais clara a convergência dos resultados.

A Figura 10 mostra os resultados obtidos, onde separam-se os dados dos bancos grandes e pequenos em diferentes linhas para efeito de comparação. No painel (b), observa-se uma grande diferença entre o nível de liquidez dos bancos grandes e pequenos, sendo o primeiro superior ao último. Em virtude da diferença de tamanho, os bancos grandes verificam que uma eventual necessidade de liquidez pode não ser devidamente suprida pelo excesso de liquidez dos bancos pequenos. Desta forma, torna-se mais vantajoso reservar mais ativos líquidos para atender sua demanda no período 2, diminuindo, assim, a necessidade de que esses bancos recorram a empréstimos de liquidez junto ao Banco Central a taxas desfavoráveis. Uma consequência interessante dessa diferença de nível de liquidez entre bancos grandes e pequenos pode ser vista no mercado interbancário. No painel (c), verifica-se a posição líquida no mercado interbancário dos bancos grandes (soma simples dos saldos credores ou devedores desses bancos no mercado interbancário) vis-à-vis

a dos bancos pequenos. Percebe-se que os bancos grandes se transformam naturalmente em fornecedores de liquidez para os bancos pequenos, tornando mais evidente a relação entre o tamanho do banco e o seu papel como *money center*.

Finalmente, observa-se no painel (a) que o nível de capitalização médio dos bancos grandes ficou um pouco abaixo do nível de capitalização médio dos bancos pequenos. Uma vez que a diferença é muito pequena, não é possível afirmar de forma conclusiva que os bancos grandes tendem a adotar uma postura mais arriscada em comparação aos bancos pequenos por terem uma reserva menor de capital. Mais factível é a explicação de que os bancos pequenos aumentam seu nível de capital como forma de se colocarem em uma posição mais privilegiada na disputa por liquidez no mercado interbancário.

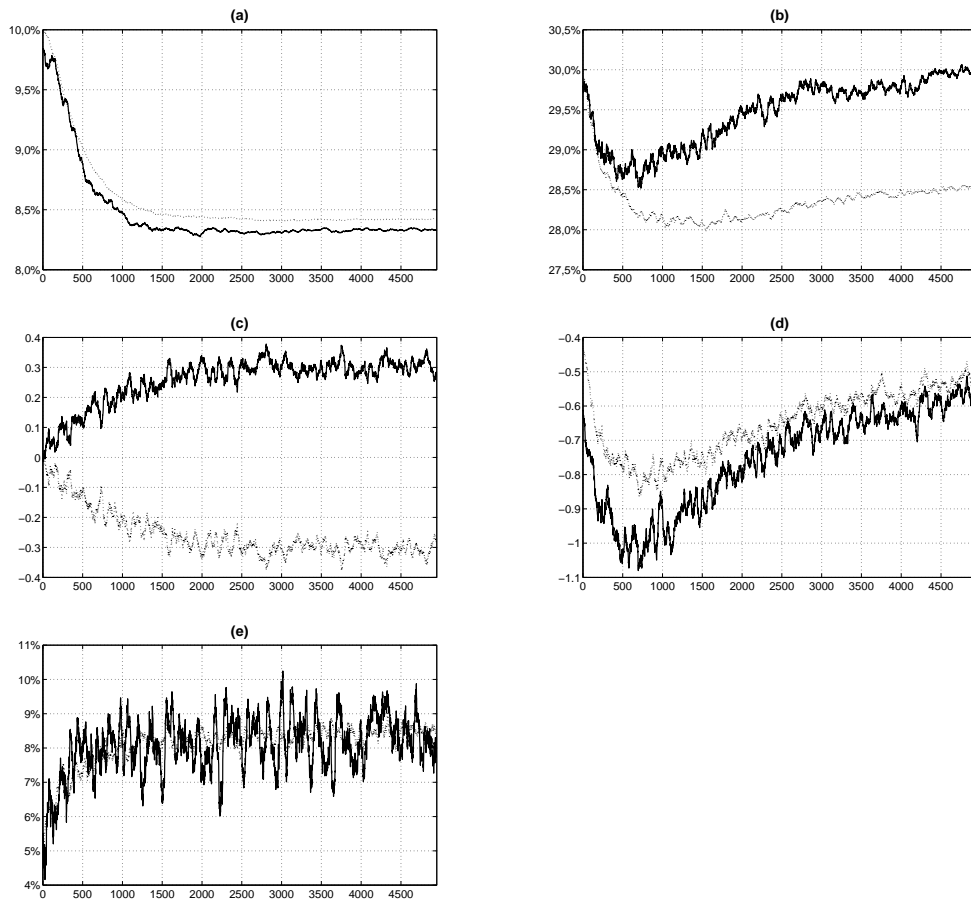


Figura 10: Resultados Experimento de Bancos de diferentes tamanhos.

Painel (a) mostra o nível de capitalização médio de bancos grandes (linha sólida) vs bancos pequenos (linha tracejada). Painel (b) mostra o nível de liquidez médio de bancos grandes (linha sólida) vs bancos pequenos (linha tracejada). Painel (c) mostra o valor agregado líquido de empréstimos interbancários de bancos grandes (linha sólida) vs bancos pequenos (linha tracejada). Painel (d) mostra o valor agregado de empréstimos do Banco Central para bancos grandes (linha sólida) vs bancos pequenos (linha tracejada). Painel (e) mostra a lucratividade média de bancos grandes (linha sólida) vs bancos pequenos (linha tracejada). Todas as curvas mostram a média entre os bancos e foram suavizadas por uma janela de média móvel de tamanho 50.

3.3 Empoçamento de liquidez

Uma das consequências mais severas de uma crise financeira é a perda de confiança entre os bancos em virtude da assimetria de informação que dificulta a avaliação precisa da saúde financeira de uma instituição pela a outra. Decorre desta perda de confiança a paralização do mercado interbancário de empréstimos, fazendo com que bancos muitas vezes solventes venham a se tornar inadimplentes em suas obrigações por não conseguirem fontes de financiamento. A ação do Banco Central, seja como prestador de última instância, seja reduzindo a assimetria de informação entre os bancos, é fundamental para mitigar o risco sistêmico ao atuar contra esta falha de mercado.

Em seu modelo dinâmico, Arinaminpathy, Kapadia e May (2012) incluiu a possibilidade de perda de confiança e empoçamento de liquidez por meio de parâmetros que representavam a 'confiança no sistema' e a 'saúde individual' dos bancos. Dependendo do valor que esses parâmetros alcançam, os bancos encerram seus empréstimos de curto e de longo prazo entre si. O modelo, no entanto, ainda se baseia em suposições exógenas a respeito do nível desses parâmetros a partir do qual a perda de confiança ocorre.

Uma questão que surge então é, eliminando-se o efeito de assimetria de informação que potencializa a paralização do mercado interbancário, qual é a sensibilidade do grau de empoçamento de liquidez às condições de risco macroeconômicas? A variação proposta do modelo do capítulo 1 permite essa análise, pois com o aprendizado ao longo da simulação, os bancos poderão 'ler' o risco médio que incorrem no mercado interbancário e ajustar o quanto irão dispor de sua liquidez excedente para esse mercado a contento.

3.3.1 Descrição do modelo

Para simular a possibilidade de empoçamento de liquidez no mercado interbancário, introduzimos um novo parâmetro γ^j que determinará, quando houver liquidez excedente ($Ls_t^j > 0$), o percentual retido que não será emprestado no mercado interbancário. Desta forma, no período 2, item 2 (seção 1.4, capítulo 1), a liquidez excedente que será efetivamente disponibilizada ao mercado interbancário para empréstimo será dada por:

$$Ld_t^j = (1 - \gamma^j) * Ls_t^j. \quad (3.1)$$

De forma a simplificar o modelo e manter apenas dois parâmetros na definição da estratégia do banco, optou-se por retirar dos bancos, nesta variação do modelo original,

a possibilidade de escolha de seu nível de liquidez β^j , substituindo-o pelo parâmetro γ^j . Desta forma, conforme subseção 1.2.2 do capítulo 1, a escolha da estratégia do banco será dada pela escolha do par de parâmetros (α^j, γ^j) , e não mais pelos parâmetros (α^j, β^j) . O excesso de liquidez não disponibilizada para o mercado interbancário ($\gamma^j * Ls_t^j$) é mantido pelos bancos até o último período do ciclo (período 3) na forma de ativos líquidos, sem remuneração.

Como os bancos perdem a autonomia na determinação de seu nível de liquidez (β^j), ele será constante para todos os bancos e igual ao valor do choque médio de liquidez $s\%$. Desta forma, os bancos estarão sempre escolhendo o nível de liquidez ótimo desde que todos os recursos excedentes sejam disponibilizados para empréstimo no mercado interbancário ($\gamma^j=0$), permitindo o equilíbrio nesse mercado e evitando que os bancos recorram a empréstimos do Banco Central a taxas punitivas.

3.3.2 Experimento

Para a realização desse experimento, utiliza-se a mesma configuração do experimento 0: configuração padrão (seção 2.2.1). O parâmetro γ^j , que substitui β^j , pode assumir valores no intervalo de 0 – 5%, em passos de 0.5%. Realiza-se a simulação para três valores crescentes de risco dos empréstimos dos setor real (desvio padrão empréstimos setor real - sd_e). Os valores utilizados foram: 0.015, 2x0.015 e 4x0.015. A intenção é avaliar como o parâmetro γ^j se comporta vis-à-vis as variações de sd_e .

A Figura 11 mostra a evolução do parâmetro γ^j ao longo dos 2500 ciclos de simulação para os três diferentes valores de sd_e . Como se observa no painel (a), não verificam-se valores significativos de empoçamento de liquidez (γ^j) para os diferentes níveis de risco dos empréstimos para o setor real utilizados, e mesmo a tendência verificada de maior empoçamento de liquidez (maior valor de γ^j) com o aumento do risco dos empréstimos para o setor real (maior valor de sd_e) foi praticamente imperceptível.

Assim, é interessante verificar que os bancos optam por não reter liquidez, mesmo com o aumento do risco dos empréstimos para o setor real e o aumento da probabilidade de que um banco se torne insolvente e fique inadimplente em suas obrigações no mercado interbancário. Depreende-se que a perda esperada no mercado interbancário, mesmo com o aumento do risco na economia real, não é suficientemente grande de forma a justificar a perda que o banco tem na forma de juros não recebidos sobre o valor de liquidez retido.

Esse resultado, ainda que preliminar, pode indicar que o empoçamento de liquidez

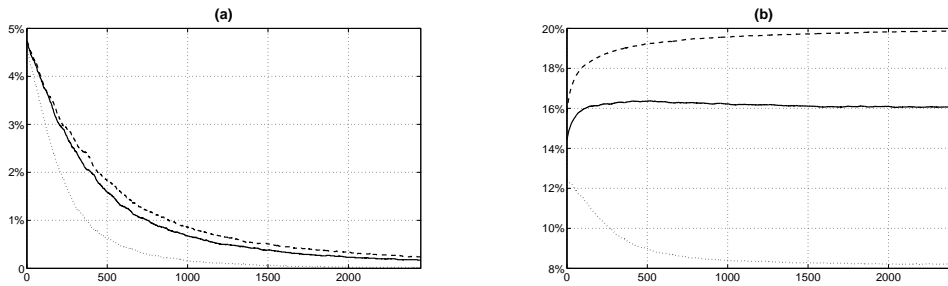


Figura 11: Resultados Experimento de Empoçamento de liquidez.

Painel (a) mostra a comparação do percentual retido de liquidez (γ^j) para diferentes níveis de risco dos empréstimos para o setor real (sd_e): risco configuração padrão (linha pontilhada); 2 x risco configuração padrão (linha sólida) e 3 x risco configuração padrão (linha tracejada). Painel (b) mostra a comparação do nível de capitalização (α^j) para diferentes níveis de risco dos empréstimos para o setor real (sd_e): risco configuração padrão (linha pontilhada); 2 x risco configuração padrão (linha sólida) e 3 x risco configuração padrão (linha tracejada). Todas as curvas mostram a média entre os bancos e foram suavizadas por uma janela de média móvel de tamanho 50.

verificado em situações reais de crise está muito mais ligado à assimetria de informação e à consequente incapacidade de os bancos avaliarem o risco que incorrem, não sendo necessariamente justificável pelas perdas potenciais no mercado interbancário em uma situação em que não há assimetria de informação.

Conclusão

Neste trabalho introduziu-se um modelo de rede de bancos que responde estrategicamente às condições de mercado e políticas regulatórias. Os bancos aprendem como adaptar seu comportamento e um mercado interbancário surge endógenamente. O comportamento verificado dos bancos foi em linha com o esperado. Além disso, discutiu-se questões importantes como aquelas relacionadas às razões para se manter capital em excesso e a questão do financiamento de investimentos de longo prazo com recursos de curto prazo.

Além do sistema bancário que foi utilizado como referência foram analisadas seis outras diferentes variações de parametrização desse sistema. Esses sistemas bancários diferem uns dos outros ao considerar diferentes níveis de risco, diferentes políticas de regulação e diferentes desenhos de mercado. Do ponto de vista de regulação bancária, os experimentos que consideram diferentes requerimentos de níveis de capitalização e de liquidez e os experimentos que consideram a ausência de um mercado interbancário e a presença de um mercado interbancário com um câmara são de interesse particular. Também realizou-se testes de estresse de forma a avaliar a habilidade de cada estrutura de mercado ou política de regulação de lidar com choques inesperados mais severos.

De forma geral, mostrou-se que políticas de regulação baseadas em níveis de capitalização mais altos e a implementação de uma câmara de pagamentos que garanta parcialmente as operações no mercado interbancário oferecem a melhor relação entre o aumento da estabilidade financeira e o custo extra que essas implementações trazem ao mercado financeiro. Em nossas simulações, enquanto a primeira aumenta a solvência dos bancos, a segunda é eficiente na prevenção de risco sistêmico.

O modelo pode ser adaptado para estudar diferentes questões na área de *banking*. Apresentou-se duas variações estruturais do modelo original. Na primeira variação, permitiu-se a existência de bancos com diferentes tamanhos no que tange às suas bases de depósitos, quais sejam: bancos grandes e pequenos. Quería-se analisar se a diferença de tamanho de alguma forma enseja a adoção de diferentes estratégias para a escolha dos níveis de liquidez e de capitalização. Verificou-se, a partir das simulações, que os banco grandes, para se preservarem em relação a sua necessidade de liquidez, escolhem níveis de liquidez

mais altos do que os bancos pequenos. O efeito ancilar dessa medida é o de que os bancos grandes se tornam *money centers*, ou seja, na média, atuam como fornecedores de liquidez para os bancos pequenos.

Na segunda variação, modificou-se o modelo de forma a permitir que os bancos escolhessem o percentual de liquidez excedente (após o choque de liquidez, se houvesse) que seria disponibilizado para empréstimo no mercado interbancário. A idéia era avaliar a sensibilidade desse parâmetro ao nível de risco macroeconômico, aqui representado pela volatilidade dos retornos dos empréstimos para o setor real. O que se observou foi que os bancos optam por não empoeçarem liquidez a despeito do aumento do risco de insolvência no mercado interbancário. Depreendeu-se daí que a perda esperada nesse mercado devido à insolvência dos bancos é inferior à perda que os bancos tem em termos de juros não recebidos ao reservarem liquidez. A incorporação do efeito de empoeçamento de liquidez, observado no sistema financeiro real em momentos de crise, deve ser feita de outra forma, por meio da modelagem da assimetria de informação.

Essas duas variações não esgotam de maneira alguma outras possibilidades de adaptações. Pode-se inserir outras heterogeneidades entre os bancos (como risco dos empréstimos para o setor real ou penalidade em caso de insolvência) e analisar como isso afeta a estabilidade do sistema.

Também pode-se focar na topologia de rede. Em última instância, a topologia da rede formada no mercado interbancário está relacionada, em nosso modelo, com a metodologia de ordenação das filas de bancos com excesso (credores) e com falta (devedores) de liquidez. Enquanto, neste trabalho, ordenaram-se essas filas de acordo com o grau de segurança dos bancos, espelhado nos parâmetros de nível de capitalização e de liquidez, pode-se propor outras formas de ordenação. Uma possibilidade seria utilizar alguma metodologia de otimização matemática de redes, onde um agente central organizaria o fluxo de pagamentos de forma a minimizar a possibilidade de contágio entre os bancos, e, conseqüentemente, o risco sistêmico (ver trabalhos de Peñaloza (2005) e Peñaloza (2009)). Ainda relacionado ao estudo da topologia pode-se, por exemplo, criar grupos de bancos do mesmo tipo e verificar que tipo de topologia surge na simulação.

Outra possibilidade é estudar os efeitos da política monetária na estabilidade (Graeve, Kick e Koetter (2008)). Neste caso, seria necessário incluir um canal para transmissão da política monetária. Uma questão interessante é estudar como a diversificação do portfólio de empréstimos entre os bancos pode ajudar na estabilidade financeira (Rossi, Schwaiger e Winkler (2009), Tabak, Fazio e Cajueiro (2011)), pela diminuição da correlação entre eles.

Neste caso deverão existir mais de um ativo de risco nos quais os bancos possam aplicar os recursos captados. Finalmente, pode-se lidar também com a influência da capacidade da gerência do banco em sua resiliência (Berger e DeYoung (1997)). Aqui adaptaria-se o modelo para que ele tivesse diferentes esquemas de aprendizado que poderiam ser classificados em ordem de ingenuidade.

Finalmente, neste trabalho considerou-se apenas o caso no qual a função de atração do esquema de aprendizado é dada pela lucratividade acumulada. Desta forma, futuras pesquisas podem explorar outros esquemas de aprendizado EWA não considerados aqui e analisar o impacto dessas variações nas estratégias dos bancos.

Referências

- ALLEN, F.; GALE, D. Optimal financial crises. *The Journal of Finance*, v. 53, p. 1245–1284, 1998.
- ALLEN, F.; GALE, D. Financial contagion. *The Journal of Political Economy*, v. 108, p. 1–33, 2000.
- ANGELINI, P.; CLERC, L. *Basel III: Long-Term Impact on Economic Performance and Fluctuations*. [S.l.], Feb 2011.
- ARINAMINPATHY, N.; KAPADIA, S.; MAY, R. M. Size and complexity in model financial systems. *PNAS*, v. 109(45), p. 18338–18343, 2012.
- BERGER, A. N.; DEYOUNG, R. Problem loans and cost efficiency in commercial banks. *Journal of Banking and Finance*, v. 21, p. 849–870, 1997.
- BICHSEL, R.; BLUM, J. The relationship between risk and capital in swiss commercial banks: A panel study. *BIS*, 2001.
- BONNER, C.; EIJJFINGER, S. *The Impact of the LCR on the Interbank Money Market*. [S.l.], Feb 2011.
- BOSS, M. et al. Network topology of the interbank market. *Quantitative Finance*, Routledge, v. 4, p. 677–684, 2004.
- BOSS, M.; SUMMER, M.; THURNER, S. Contagion flow through banking networks. *Lecture notes in computer science*, v. 3038, p. 1070–1077, 2004.
- CAJUEIRO, D. O.; TABAK, B. M. The role of banks in the brazilian interbank market: Does bank type matter? *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 387, n. 27, p. 6825 – 6836, 2008.
- CAJUEIRO, D. O.; TABAK, B. M.; ANDRADE, R. F. S. Fluctuations in interbank network dynamics. *Physical Review E*, v. 79, p. 037101, 2009.
- CAJUEIRO, D. O.; TABAK, B. M.; SERRA, T. R. Topological properties of bank network: the case of brazil. *International Journal of Modern Physics C*, v. 20, p. 1121–1143, 2009.
- CAMERER, C. F.; HO, T. H. Experience weighted attraction learning in normal form games. *Econometrica*, v. 67, p. 827–874, 1999.
- COCCO, J. F.; GOMES, F. J.; MARTINS, N. C. Lending relationships in the interbank market. *Journal of Financial Intermediation*, v. 18, p. 24–48, 2009.

- DIAMOND, D.; RAJAN, R. G. Liquidity risk, liquidity creation and financial fragility: A theory of banking. *Journal of Political Economy*, v. 109(2), p. 287–327, 2001.
- DIAMOND, D. W.; DYBVIK, P. H. Bank runs, deposit insurance and liquidity. *The Journal of Political Economy*, v. 91, p. 401–419, 1983.
- ELSINGER, E.; LEHAR, A.; SUMMER, M. Risk assessment for banking systems. *Management Science*, v. 52, p. 1301–1314, 2006.
- FREIXAS, X.; PARIGI, B.; ROCHET, J. C. Systemic risk, interbank relations and liquidity provision by the central bank. *Journal of Money, Credit and Banking*, v. 32, p. 611–638, 2000.
- GAI, P.; HALDANE, A.; KAPADIA, S. Complexity, concentration and contagion. *Forthcoming in Journal of Monetary Economics*, v. 58, p. 453–470, 2011.
- GOODHART, C. A. E.; SUNIRAND, P.; TSOMOCOS, D. P. A risk assessment model for banks. *Annals of Finance*, v. 1, p. 197–224, 2005.
- GRAEVE, F. D.; KICK, T.; KOETTER, M. Monetary policy and financial (in)stability: An integrated micro-macro approach. *Journal of Financial Stability*, v. 4, n. 3, p. 205–231, 2008.
- HATAJ, G.; KOK, C. *Assessing interbank contagion using simulated networks*. [S.l.], Jan 2013.
- INAOKA, H. et al. Self-similarity of banking network. *Physica A*, v. 339, p. 621–634, 2004.
- IORI, G.; JAFAREY, S.; PADILHA, F. G. Systemic risk on the interbank market. *Journal of Economic Behavior and Organization*, v. 61, p. 525–542, 2006.
- IORI, G. et al. A network analysis of the Italian overnight money market. *Journal of Economic Dynamics and Control*, v. 32, n. 1, p. 259 – 278, 2008.
- LENZU, S.; TEDESCHI, G. Systemic risk on different interbank network topologies. *Physica A*, v. 391, p. 4331–4341, 2012.
- LUBLÓY, A. Topology of the Hungarian large-value transfer system. *Working Paper of the Magyar Nemzeti Bank*, 2006.
- MÜLLER, J. Two approaches to assess contagion in the interbank market. *Working Paper of the Swiss National Banking*, 2003.
- NIER, E. et al. Network models and financial stability. *Journal of Economic Dynamics and Control*, v. 31, p. 2033–2060, 2007.
- PEÑALOZA, R. A. A duality theory of payment systems. *Journal of Mathematical Economics*, v. 45, p. 679–692, 2009.
- PEÑALOZA, R. A. S. Preços-sombra no sistema de pagamentos: uma abordagem dual para a política monetária ótima. *Revista Brasileira de Economia*, v. 59, p. 609–634, 2005.

- POUGET, S. Adaptive traders and the design of financial markets. *Journal of Finance*, v. 62, p. 2835–2863, 2007.
- ROSSI, S.; SCHWAIGER, M.; WINKLER, G. How loan portfolio diversification affects risk, efficiency and capitalization: A managerial behavior model for Austrian banks. *Journal of Banking and Finance*, 2009.
- SHRIEVES, R. E. The relationship between risk and capital in commercial banks. *Journal of Banking and Finance*, v. 16(02), p. 439–457, 1992.
- SLOVIK, P.; COURNÈDE, B. *Macroeconomic Impact of Basel III*. [S.l.], Feb 2011.
- SORAMAKI, K. et al. The topology of interbank payment flows. *Physica A*, v. 379, p. 317–333, 2007.
- TABAK, B. M.; FAZIO, D. M.; CAJUEIRO, D. O. The effects of loan portfolio concentration on brazilian banks return and risk. *Journal of Banking and Finance*, v. 35, p. 3065–3076, 2011.
- UPPER, C. Simulation methods to assess the danger of contagion in interbank markets. *Journal of Financial Stability*, v. 7, p. 111–125, 2011.
- WAN, Y. S.; CHEN, Z.; LIU, Z. R. Modeling the two-power-law degree distribution of banking networks. *Dynamics of Continuous Discrete and Impulsive Systems – Series B – Applications and Algorithms*, v. 13, p. 441–449, 2006.

Anexo

Teste de convergência do modelo

As variáveis aleatórias de choque de liquidez dos bancos, retorno dos empréstimos para o setor real e escolha das estratégias dos bancos caracterizam o sistema dado pelo modelo proposto como um processo estocástico. A introdução do aprendizado faz com que as variáveis de interesse desse processo dependam da realização passada das diversas variáveis aleatórias. Ainda que se verifique essa dependência, é interessante avaliar se, após um período grande o suficiente que permita a convergência das variáveis, o sistema possui a propriedade de Markov, ou seja, que os estados futuros do sistema não dependam dos estados passados (antes do período de convergência). A existência dessa propriedade significa que o modelo pode ser estudado teoricamente (analiticamente) como um modelo markoviano.

Para testar isso, o experimento da configuração padrão (2.2.1) foi refeito com alterações na estrutura de aprendizado. De forma geral, ao invés de permitir que a função de atração (A_w^j) acumule os valores de lucratividade ao longo de todos os ciclos de simulação, limitou-se esse acúmulo a uma janela móvel de tamanho $T_m < T$. Estendeu-se o número de ciclos de simulação para 5000, de forma a acomodar os seguintes tamanhos de janelas móveis utilizadas: 500, 1000 e 2500. O objetivo aqui é o de comparar a convergência do modelo para os diversos tamanhos de janelas com a convergência alcançada sem a utilização da janela móvel. Adicionalmente, também se pretende avaliar como os modelos com janela se comportam na medida que a janela se move ao longo do tempo, descartando valores de lucratividade passados em prol de valores mais recentes.

A Figura 12 mostra os resultados encontrados para as variáveis de nível de liquidez e de capitalização. Como se observa, para tamanhos de janela pequenos (500 e 1000), as variáveis não convergem para os valores verificados na simulação sem janela (5000 ciclos), mantendo, comparativamente, uma variância maior. No entanto, para a janela de 2500 ciclos, as variáveis convergem, e mesmo com o deslocamento da janela ao longo da simulação elas permanecem estáveis indicando uma plausível independência relativa ao passado mais distante (fora da janela).

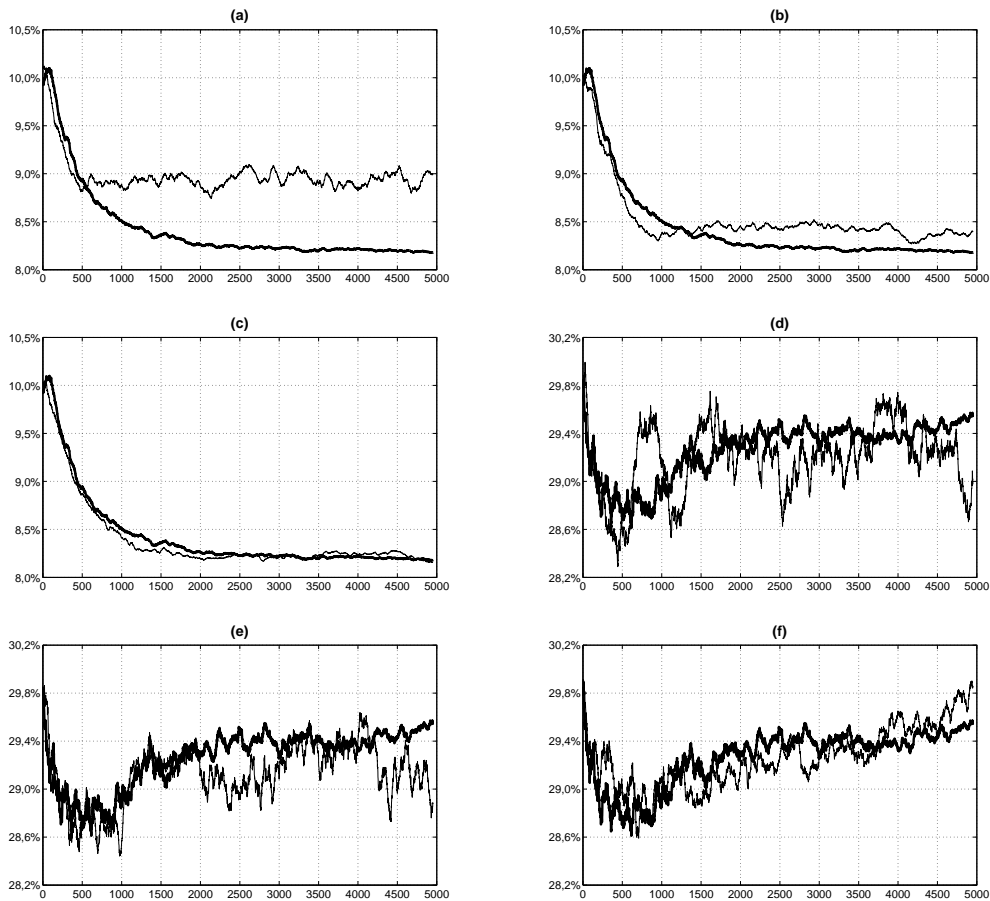


Figura 12: Resultados Experimento Teste de convergência.

Painel (a) mostra o nível de capitalização médio sem janela móvel (linha mais grossa) e com janela móvel de 500; Painel (b) mostra o nível de capitalização médio sem janela móvel (linha mais grossa) e com janela móvel de 1000; Painel (c) mostra o nível de capitalização médio sem janela móvel (linha mais grossa) e com janela móvel de 2500; Painel (d) mostra o nível de liquidez médio sem janela móvel (linha mais grossa) e com janela móvel de 500; Painel (e) mostra o nível de liquidez médio sem janela móvel (linha mais grossa) e com janela móvel de 1000; Painel (f) mostra o nível de liquidez médio sem janela móvel (linha mais grossa) e com janela móvel de 2500. Todas as curvas foram suavizadas por uma janela de média móvel de tamanho 50.