9ª EDIÇÃO | 2017

PRÊMIO INFI-FEBRABAN DE ECONOMIA BANCÁRIA

Categoria B

Monografias de Graduação

2º lugar

São Paulo

2018

infi
INSTITUTO FEBRABAN DE EDUCAÇÃO

FEBRABAN 50

Universidade de Brasília – UnB
Faculdade de Administração, Contabilidade, Economia e Gestão de Políticas Públicas – FACE
Departamento de Administração – ADM

MATHEUS ALVES VIEIRA

Agent-based model: uma análise de alavancagem e falência de bancos e empresas

Brasília
2016

MATHEUS ALVES VIEIRA

Agent-based model: uma análise de alavancagem e falência de bancos e empresas

Monografia apresentada ao Departamento de Administração – ADM como requisito parcial à obtenção do título Bacharel em Administração.

Orientador: Prof. Dr. Herbert Kimura.

Brasília
2016

Alves Vieira, Matheus.
Agent-based model: uma análise de alavancagem e falência de bancos e empresas. / Matheus Alves Vieira - Brasília, 2016. 46 p. : il.
Monografia (bacharelado) - Universidade de Brasília - UnB, Departamento de Administração - ADM, 2016.
Orientador: Prof. Dr. Herbert Kimura, Departamento de Administração - ADM.

MATHEUS ALVES VIEIRA

Agent-Based Model: Uma Análise de Alavancagem e falência de bancos e empresas

A Comissão Examinadora, abaixo identificada, aprova o Trabalho de Conclusão do Curso de Administração da Universidade de Brasília do aluno

Matheus Alves Vieira

Prof. Tit. Herbert Kimura
Professor - Orientador

Prof. Dr. Vinicius Amorim Sobreiro
Professor - Examinador

Prof. Me. Peng Yaohao
Professor - Examinador

Brasília, 2 de dezembro de 2016

Dedicatória

Dedico este trabalho à todos aqueles que contribuíram e me ajudaram ao longo da minha jornada acadêmica.

Agradecimentos

Agradeço à todos que contribuíram não só para minha formação acadêmica, mas também ao meu crescimento como pessoa e profissional ao longo da minha jornada acadêmica na Universidade de Brasília. Em especial, gostaria de agradecer à minha família, à Ana Cecília, ao Alan, responsável pelo desenvolvimento do código apresentado no apêndice deste trabalho, e ao Prof. Dr. Herbert Kimura por toda a sabedoria e mentoria ao longo da elaboração desta monografia.

Resumo

Neste trabalho é feita uma modelagem baseada em agentes, aonde se desenvolve uma economia constituída de bancos e empresas, na qual as empresas, caso não possuam patrimônio líquido suficiente para financiar seu nível de capital ótimo, recorrem à um banco solicitando um empréstimo. Em situações nas quais o banco não possui a liquidez necessária para fornecer todo o crédito solicitado, esse recorre ao mercado interbancário. O objetivo deste modelo é analisar variáveis relacionadas aos agentes como, por exemplo: (I) Patrimônio líquido; (II) Lucro; (III) Alavancagem e (IV) Número de agentes falidos, e verificar seu comportamento em relação à alteração de alguns parâmetros do modelo. A modelagem baseada em agentes permite ir além de modelos macroeconômicos tradicionais, os quais consideram uma economia em equilíbrio, por ter a capacidade de reproduzir ambientes caracterizados pelo desequilíbrio e agentes heterogêneos, o qual é fundamental para se entender a geração de crises e bolhas na economia. Identificou-se neste trabalho que uma alavancagem excessiva pode tornar a economia mais arriscada, aonde períodos com um grande número de bancos falidos são precedidos por uma alta alavancagem. Além disso, estipulou-se uma restrição no mercado interbancário, na qual um banco só pode solicitar empréstimos à outro que possui um patrimônio líquido superior. Com essa restrição, o número médio de bancos falidos ao longo da simulação passou de 164 para 55 e a alavancagem média no setor bancário passou de 5,39 para 0,63, tornando a economia menos susceptível ao risco sistêmico.

Palavras-Chaves: Agent-Based Model; Risco Sistêmico; Alavancagem; Mercado Interbancário; Conectividade do Network.

Abstract

In this work an agent-based model is developed, where an economy is composed of banks and companies, in which companies, if they do not have sufficient net worth to finance their optimal capital level, turn to a bank for a loan. In situations where the bank does not have the necessary liquidity to provide all the requested credit, it uses the interbank market. The goal of this model is to analyze variables related to agents, such as: (I) net worth; (II) profit; (III) leverage; and (IV) number of bankrupt agents, and verify their behavior in relation to the alteration of some parameters of the model. Agent-based models allows us to go beyond traditional macroeconomic models because it has the capacity to reproduce environments characterized by disequilibrium and heterogeneous agents, which is fundamental for understanding the generation of crises and bubbles in the economy. It was identified in this study that excessive leverage can make the economy more risky, where periods with a large number of bankrupt banks are preceded by high leverage. In addition, in this work, a restriction has been stipulated in the interbank market, where a bank can only borrow from another that has a higher net worth. With this restriction, the average number of bankrupt banks during the simulation went from 164 to 55 and the average leverage in the banking sector went from 5.39 to 0.63, making the economy less susceptible to systemic risk.

Keywords: Agent-Based Model; Systemic Risk; Leverage; Inter-bank Market; Network Connectivity.

Lista de Figuras

4.1 Evolução do comportamento das empresas. 18
4.2 Evolução do comportamento dos bancos. 19
4.3 Número de empresas e bancos falidos em cada período. 19
4.4 Comportamento dos bancos em relação a conectividade interbancária. 20
4.5 Comportamento das empresas em relação a conectividade interbancária. 20
4.6 Comportamento das empresas em relação a conectividade entre empresa-banco. 21
4.7 Número médio de empresas e bancos falidos em relação a conectividade entre empresa-banco. 22
4.8 Patrimônio líquido e lucro médio de empresas e bancos em relação à τ. 22
4.9 Número médio de empresas e bancos falidos em relação à τ. 23
4.10 Alavancagem, patrimônio líquido e lucro médio das empresas em relação ao empréstimo inicial $L_{i,0}$. 24
4.11 Número médio de empresas e bancos falidos em relação ao empréstimo inicial $L_{i,0}$. 24

Lista de Tabelas

4.1 Parâmetros 17
4.2 Resultados gerados pela restrição no mercado interbancário. 24

Sumário

Dedicatória **v**

Agradecimentos **vii**

Resumo **ix**

Abstract **xi**

Lista de Figuras **xiii**

Lista de Tabelas **xv**

Sumário **xvii**

1 Introdução **1**

2 Revisão da literatura **5**
2.1 *Agent Based Model* no mercado financeiro 6
2.2 *Agent Based Model* no mercado de crédito 7

3 Método **13**
3.1 Empresas 13
3.2 Bancos 14
3.3 *Network* entre agentes 15

4 Resultados e discussões **17**
4.1 Parâmetros base 18
4.2 Probabilidade de conexão entre banco-banco (ρ) 19
4.3 Probabilidade de conexão entre empresa-banco (x) 21
4.4 Número de períodos para pagamento da dívida (τ) 22
4.5 Estrutura de capital das empresas (A_i e L_i) 23
4.6 Regulamentação no mercado interbancário 24

5 Comentários finais **27**

Referências **29**

Apêndice A Programação do modelo em Python **37**

Capítulo 1

Introdução

A modelagem baseada em agentes consiste em interações entre elementos, os quais são considerados agentes, tendo como principal vantagem a capacidade de reproduzir resultados a partir da modelagem de microestruturas que determinam o comportamento dos agentes (Ballot, Mandel, & Vignes, 2014). Com isso, tais modelagens possuem a capacidade de abranger um grande número de agentes heterogêneos que não dependem de um controle central, oferecendo um ambiente realístico e capaz de estudar dinâmicas caracterizadas pelo desequilíbrio (Bargigli & Tedeschi, 2012). No âmbito econômico, tal modelagem vem sendo amplamente utilizada de forma a analisar interações entre empresas e bancos, sendo capaz de identificar o quão prejudicial é a conectividade entre bancos para a economia (Grilli, Tedeschi, & Gallegati, 2014b), o quanto a oferta de crédito impacta a estabilidade econômica (Asanuma, 2012) e como um pequeno número de empresas podem desestabilizar toda a economia (Delli Gatti, Gallegati, Greenwald, Russo, & Stiglitz, 2010).

Abordagens tradicionais, ver B. C. Greenwald e Stiglitz (1993), embora sejam a base para construção de modelos baseados em agentes com um enfoque econômico, não possuem a capacidade de analisar interações entre agentes heterogêneos e limitados racionalmente. Como em modelagens baseadas em agentes os comportamentos dos elementos é formulado conforme regras de decisão e existe um grande número de agentes, a abordagem se torna mais flexível (Helbing, 2012). Com isso, tais modelos são capazes de reproduzir ambientes caracterizados pelo desequilíbrio e assimetrias informacionais, indo além de modelos teóricos, em que resultados são gerados após simulações, possibilitando a análise de microvariáveis que impactam a macroeconomia (Bargigli & Tedeschi, 2012).

A capacidade de se desenvolver ambientes caracterizados pelo desequilíbrio, em especial no setor financeiro, é de grande importância para se entender os impactos gerados através da relação entre bancos e empresas, em que o mercado de capitais ajuda a implementação de políticas monetárias e meios de financiamento para que empresas e indivíduos invistam na produção e compra de bens os quais alimentam a economia. O mercado interbancário é responsável, teoricamente, por mitigar mitigar qualquer risco que pode ocorrer devido a choques que causem problemas de liquidez aos bancos (Temizsoy, Iori, & Montes-Rojas, 2015). Com isso, o mercado interbancário exerce uma grande importância na economia por ser um *hub* central, o qual

conecta todas as instituições financeiras (Temizsoy et al., 2015). Conforme visto na crise do *subprime*, dada a incerteza relativa ao risco de crédito das contrapartes, bancos não disponibilizaram recursos no mercado, fazendo com que o mercado financeiro praticamente congelasse, impactando toda a economia (Souza, Tabak, Silva, & Guerra, 2015). Visto isso, modelagens baseadas em agentes vêm se tornando uma valiosa ferramenta para compreender as implicações que o mercado interbancário exerce na economia e regulamentações que podem ser adotadas como uma forma de mitigar risco, por exemplo, evitar que choques idiossincráticos se espalhem na economia.

Outro fator de risco na economia é a alavancagem das empresas e bancos. Em Kalemli-Ozcan, Sorensen, e Yesiltas (2012), argumenta-se que a grande oferta de crédito observada no início dos anos 2000, alimentou a crise do *subprime*, em que bancos e empresas se encontravam extremamente alavancadas e, com o estouro da crise, bancos se viram na necessidade de restringir o crédito resultando em um dos piores colapsos financeiros já observados (Kalemli-Ozcan et al., 2012). Embora alavancagem seja um fator de risco na economia (Ramadan, 2012), empréstimos bancários são uma forma necessária de captação de recursos pelas empresas para que estas tenham a capacidade de desenvolver e realizar processos e tecnologias inovadoras (Messori, 2014). Então, alavancagem de empresas e bancos é algo presente na realidade dos mesmo, sendo um fator a ser gerenciado e não extinto. Como modelagens baseadas em agentes tem a capacidade de reproduzir agentes heterogêneos, os impactos e formas de gerenciamento de alavancagem de empresas e bancos em uma economia podem ser analisados através de simulações realizadas a partir da modelagem.

O modelo utilizado neste trabalho segue o elaborado por Grilli, Tedeschi, e Gallegati (2014a), e consiste na interação entre empresas e bancos, aonde existem três tipos de mercados: bens de consumo, crédito e crédito interbancário. No mercado de bens, a empresa vende toda sua produção, a qual depende somente do capital disponível da empresa. Para que a empresa alcance o nível ótimo de capital determinado por ela, caso não possua capital próprio suficiente, a empresa recorre ao mercado de crédito (Grilli et al., 2014a). O banco, avaliando sua liquidez e a situação econômica da empresa, i.e. sua alavancagem, oferece o crédito à uma taxa de juros. Caso essa taxa seja a menor encontrada no mercado pela empresa, o empréstimo é realizado. Em casos nos quais o banco não possui a liquidez para conceder todo o crédito solicitado, esse pode entrar no mercado interbancário, o qual segue a mesma lógica do mercado de crédito, embora a interação seja somente entre bancos (Grilli et al., 2014a).

Quando a conectividade entre os agentes se torna muito elevada, toda a economia se torna frágil. Em momentos nos quais um pequeno número de empresas vão à falência, bancos registram perdas em seus resultados. Caso a situação financeira dos bancos já se encontre fragilizada, esses não são capazes de suportar a perda e também vão a falência. Com isso, empresas que permanecem no mercado e, caso apresentem uma alta alavancagem, não resistem à elevação da taxa de juros e, também, vão à falência, gerando então um efeito cascata em toda a economia.

Tendo isso em vista, o objetivo deste trabalho é analisar não só o mercado interbancário, conforme feito em Grilli et al. (2014a), mas também identificar como a estrutura de capital

inicial das empresas, condições de pagamento da dívida e regulamentações no mercado interbancário podem impactar a economia e o balanço dos agentes.

No Capítulo 2 é feita uma revisão da literatura mostrando a evolução e diferentes aplicações de modelagem baseada em agentes com um viés econômico. O Capítulo 3 demostra o modelo utilizado no presente trabalho. Os resultados das simulações feitas são apresentados no Capítulo 4 e os comentários finais e sugestões para futuras pesquisas no Capítulo 5.

Capítulo 2

Revisão da literatura

Modelos econômicos tradicionais possuem uma tendência em considerar agentes como sendo homogêneos, compartilhando de iguais preferências e sendo considerados como racionais, gerando assim um equilíbrio geral (Ballot et al., 2014). O problema de tais modelos em considerar agentes como sendo homogêneos é que acabam não conseguindo explicar vários fatos observados na interação entre agentes econômicos, como crises no mercado de crédito, bolhas e o efeito manada no mercado financeiro (Bargigli & Tedeschi, 2012).

Modelos macroeconômicos com agentes representativos, surgiram como uma ferramenta alternativa à dinâmica econômica proposta pelo equilíbrio geral de Arrow-Debreu (Ballot et al., 2014). Mas conforme Gatti, Di Guilmi, Gallegati, e Giulioni (2007), esse tipo de modelagem baseada em agentes representativos só é justificada caso a heterogeneidade seja temporária, na qual os agentes acabam convergindo a preferências iguais. Tal condição não corrobora com a realidade, visto que a heterogeneidade não tende a desaparecer com o tempo, o que acaba levando à analises simplistas da real interação entre os agentes (Gatti et al., 2007).

Para que possamos compreender de forma mais realística as dinâmicas e as propriedades emergentes de tais interações, é necessário considerar o relacionamento entre agentes heterogêneos e, principalmente, como se desenvolve o comportamento dos mesmos em situações de desequilíbrio (Tedeschi, Mazloumian, Gallegati, & Helbing, 2012). Mas considerar tais relacionamentos, até há algum tempo atrás, era uma tarefa desafiadora por fazer uso de métodos matemáticos inadequados e não contar com o auxilio de técnicas computacionais (Ballot et al., 2014).

Com o avanço de tais técnicas, a Modelagem Baseada em Agentes (*Agent Based Model*) vem sendo uma área em ascensão (Ballot et al., 2014), tendo a capacidade de ir além do equilíbrio geral, reproduzindo a interação entre um grande número de agentes heterogêneos. De acordo com Bargigli e Tedeschi (2012), tal abordagem apresenta características como: (I) inúmeros agentes interagindo entre si e com o ambiente; (II) agentes autônomos, não havendo nenhum tipo de poder de decisão central sobre seus comportamentos; e (III) o resultado das interações são observáveis por meio de simulações computacionais. Ballot et al. (2014) acrescenta ainda que os agentes possuem racionalidade limitada e a autonomia dos mesmos é controlada de acordo com as regras da modelagem elaborada.

Modelos baseados em agentes abrangem diversas áreas de estudos, como interações no mercado financeiro (Ellen & Zwinkels, 2010; Feldman, 2010; Palmer, Brian Arthur, Holland, LeBaron, & Tayler, 1994) e no mercado de crédito (Battiston, Delli Gatti, Gallegati, Greenwald, & Stiglitz, 2012; Delli Gatti et al., 2010; Xiong, Guo, Zhang, & Zhang, 2009), sendo esse último capaz de gerar dados significantes para políticas monetárias e um maior entendimento micro e macroeconômico acerca de crises que afetam toda uma economia, como visto na crise do *subprime* em 2008.

2.1 *Agent Based Model* no mercado financeiro

Com relação à modelos baseados em agentes no mercado financeiro, o modelo desenvolvido por Palmer et al. (1994) consiste em um mercado de ações aonde agentes podem comprar e vendê-las em um mercado central. O modelo vai além da teoria da racionalidade, sob a qual os agentes buscam escolhas ótimas por meio de processos lógicos em qualquer circunstância, tendo em vista que os outros agentes agirão também de tal maneira. Tal teoria é incapaz de explicar comportamentos observados na realidade, aonde não existem agentes perfeitamente racionais, informações completas e expectativas homogêneas (Palmer et al., 1994). Com isso, a abordagem utilizada consiste, inicialmente, em agentes possuindo pouca racionalidade, mas sendo permitido, ao longo do tempo, se adaptar, aprender ou até evoluir, tornando-se especialistas. A principal vantagem citada por Palmer et al. (1994) é que essa flexibilidade à evolução permite aos agentes generalizar padrões observados no passado para guiar seus comportamentos no futuro, sendo então uma abordagem indutiva, e não dedutiva conforme a teoria da racionalidade propõe. De acordo com os resultados encontrados em Palmer et al. (1994), quando há poucos agentes no mercado, esses convergem para um equilíbrio, sendo o preço das ações próximo ao seu valor fundamental. Mas quando há um grande volume de agentes interagindo no mercado, o equilíbrio acaba desaparecendo, surgindo então as altas volatilidades e o grande volume de negociações, refletindo a heterogeneidade dos agentes (Palmer et al., 1994).

A abordagem feita por Ellen e Zwinkels (2010) busca analisar a dinâmica do preço do petróleo por meio de uma simulação de mercado, em que o preço esperado é formado por dois diferentes grupos de investidores, fundamentalistas e grafistas. O primeiro grupo acredita que o preço de mercado de um ativo irá convergir para o seu valor intrínseco. Em contrapartida, investidores considerados como grafistas têm suas expectativas geradas através de preços passados, acreditando que o preço de mercado irá seguir uma tendência na mesma direção. O modelo de Ellen e Zwinkels (2010) acrescenta ainda a habilidade entre os agentes dos dois tipos em trocar de grupo conforme sua performance no período anterior. Os resultados observados concluíram que investidores fundamentalistas possuem um efeito estabilizador no preço do petróleo, enquanto que os grafistas apresentam um efeito desestabilizador, visto que suas expectativas levam o preço à divergir de seu valor intrínseco. Indo além dos resultados obtidos pelas simulações, Ellen e Zwinkels (2010) buscaram comparar a capacidade de previsão do modelo com o *random walk* e o *Vector Autoregressive (VAR)*, sendo o modelo baseado em agentes proposto

pelos autores capaz de superar tanto o *random walk* quanto o *VAR* na previsão do preço do barril de petróleo.

Relacionando ainda abordagens acerca do mercado financeiro, o modelo proposto por Feldman (2010) investiga o impacto exercido por fundos de investimentos em crises globais. O trabalho feito por Feldman (2010) conta com dois tipos de modelos, sendo o primeiro com agentes investindo em dois tipos de mercados e em um ativo livre de risco, em que a medida de risco é a variância média. Com relação ao segundo modelo, a medida de risco utilizada parte de pressupostos de finanças comportamentais, sendo o risco determinado pelas perdas realizadas pelos agentes. Os resultados obtidos por meio de simulações concluem que utilizando a variância média como medida de risco, fundos de investimentos não colaboram com o surgimento de crises financeiras (Feldman, 2010). Mas quando a medida de risco passa a ser a de aversão à perdas, havendo um grande de número de fundos ativos no mercado, esses o desestabilizam, acarretando crises financeiras. De acordo com Feldman (2010), esse resultado ocorre pelo fato do efeito da diversificação em diferentes mercados acarretar em uma maior tomada de riscos.

2.2 *Agent Based Model* no mercado de crédito

Outra linha de pesquisa relacionada a modelos baseados em agentes refere-se à interações entre empresas e bancos por meio de linhas de crédito. Tais modelos são capazes de analisar: (i) o impacto gerado na economia pela oferta e demanda de empréstimos (Delli Gatti et al., 2010); (ii) o risco relativo à uma maior conectividade entre os agentes (Battiston, Delli Gatti, et al., 2012); (iii) o efeito cascata gerado pela falência de algumas poucas empresas (Delli Gatti, Gallegati, Greenwald, Russo, & Stiglitz, 2009); e (iv) a relação entre diferentes taxas de juros cobradas e a receita obtida pelos bancos (Xiong et al., 2009). Além disso, esses modelos são capazes de replicar diversos fatos observados empiricamente, como o tamanho das empresas é representado por uma distribuição *Power Law* (Gaffeo, Gallegati, & Palestrini, 2003), e a inadimplência das empresas que segue uma distribuição de *Weibull* (Delli Gatti, Di Guilmi, Gaffeo, & Gallegati, 2004).

Seguindo essa linha de pesquisa, a modelagem baseada em agentes faz uso de abordagens neoclássicas para lastrear os modelos utilizados nas simulações. *Business cycles*, termo utilizado na literatura para representar as flutuações na economia, é o principal ponto de partida para modelos que buscam obter resultados macroeconômicos provenientes das interações entre agentes. O modelo teórico de Bernanke e Gertler (1989) busca analisar o impacto do balanço patrimonial do mutuário nas flutuações da economia, levando em consideração a assimetria informacional entre os tomadores de empréstimos e credores. O artigo foca no patrimônio líquido do mutuário como forma de atribuir o custo de agência proveniente da assimetria informacional, i.e., quanto maior o patrimônio líquido menor será o custo de agência, o contrário se aplica. O custo de agência induz um efeito acelerador nos investimentos realizados pelos tomadores de empréstimos, no qual em momentos de robustez financeira haverá uma grande demanda para investimentos, amplificando expansões na economia (Bernanke & Gertler, 1989). Mas caso

ocorram choques na economia que afetem o patrimônio líquido dos mesmos, recessões ocorrerão de forma mais acentuada (Bernanke & Gertler, 1989).

Embora o modelo anterior apresente resultados pertinentes, é necessário analisar os processos de investimentos das empresas, as quais recorrem à empréstimos para realizá-los, de forma a conseguir identificar possíveis políticas monetárias (Bernanke & Gertler, 1990). A situação em que um potencial tomador de recursos possui um baixo patrimônio líquido relativo aos seus investimentos, levando a um alto custo de agência e, consequentemente, a um desaquecimento da economia, é definida como *financially fragile* por Bernanke e Gertler (1990). Ainda de acordo com o modelo proposto por Bernanke e Gertler (1990), em situações consideradas como *financially fragile*, mesmo que o projeto de investimento seja fundamentalmente vantajoso, o custo de agência pode ser alto a ponto de inviabilizá-lo.

Buscando compreender o papel que a percepção de risco e a posição financeira das empresas exercem na economia, o modelo teórico de B. C. Greenwald e Stiglitz (1993) lastreou as principais modelagens baseadas em agentes relacionadas aos estudos de *business cycles*. O modelo considera a produção de bens como sendo dependente tanto de incertezas das empresas referentes à produção quanto de seu patrimônio líquido. Tais incertezas são geradas mediante à expectativas de preços futuros e instabilidades na política monetária, i.e. contrações na produção podem ocorrer caso haja alguma mudança nas expectativas. Em caso de elevados níveis de capital próprio, menor será o custo de falência e, consequentemente, maior será o nível de produção (B. C. Greenwald & Stiglitz, 1993). Tal afirmação implica que a produção é sensível ao nível de capital próprio, aonde caso este seja reduzido (e.g., por uma redução inesperada no preço do produto), haverá uma diminuição da produção nos períodos subsequentes (B. C. Greenwald & Stiglitz, 1993). Em momentos de prosperidade econômica, a produção e o nível de capital próprio são elevados, o que leva a maiores despesas com salários e elevados dividendos, reduzindo os lucros e o caixa da empresa (B. C. Greenwald & Stiglitz, 1993). Portanto, o capital próprio diminuirá, levando a um desaquecimento na produção, em que salário e dividendos serão reduzidos, gerando então *business cycles*. O modelo teórico de B. C. Greenwald e Stiglitz (1993) foi capaz de demostrar que pequenos distúrbios, sob a ótica da oferta, podem ter grandes efeitos macroeconômicos.

Embora os modelos apresentados anteriormente consideram, inicialmente, agentes como sendo heterogêneos, características acerca de *business cycles* não são perfeitamente entendidas, visto que tais modelos acabam recorrendo ao uso de agentes representativos para que possam ser analisados. Outro ponto importante é que choques na economia podem ser idiossincráticos, na qual uma crise financeira específica de um agente pode ser o suficiente para gerar um efeito cascata (Delli Gatti et al., 2010). Para uma melhor compreensão de tais características, a modelagem baseada em agentes proposta por Gatti et al. (2005) e Gatti et al. (2007) permitem analisar a evolução de microvariáveis, como o capital próprio e produção. O modelo conta somente com dois tipos de mercados, o de bens e o de crédito, considerando que a empresa vende toda sua produção (B. C. Greenwald & Stiglitz, 1993). A captação de recursos pela empresa é feita somente no mercado de crédito, o qual depende da taxa de juros e do grau de alavancagem

financeira. No mercado existe somente um banco, no qual sua oferta de crédito é relacionada ao seu patrimônio líquido. Com isso, a taxa de juros cobrada depende tanto do nível de capital próprio da empresa quanto do banco. A principal característica do modelo se refere à entrada e saída de empresas do mercado, a qual contribui significativamente para as flutuações macroeconômicas (Gatti et al., 2005). Esta dinâmica ocorre quando empresas vão à falência, o que resulta em uma diminuição do patrimônio líquido do banco, fazendo com que a oferta de crédito seja reduzida e a taxa de juros elevada (Hubbard, Kuttner, & Palia, 2002), resultando em um efeito dominó nas demais empresas. Regularidades encontradas em pesquisas empíricas (e.g., a distribuição *power law* para representar o tamanho das empresas e a distribuição de *Weibull* para representar variações na produção), aparecem como resultado das simulações (Gatti et al., 2005).

Em Delli Gatti et al. (2010), a relação entre choques microeconômicos e dinâmicas macroeconômicas é analisada por meio de uma rede de crédito, destacando a relevância de choques idiossincráticos nos impactos gerados na economia. O modelo consiste em *households* (consumidores finais e trabalhadores), empresas e bancos. As empresas são constituídas por dois tipos de camadas, *downstream firms* (produtora de bens de consumo) e *upstream firms* (fornecedores de matéria-prima), na qual esta última exerce a função tanto de tomadora de crédito bancário como de credora de crédito comercial para as *downstream firms*. Tal relação gera um network entre os agentes, o qual sua evolução e topologia dependem da regra de *preferred-partner choice* (Delli Gatti et al., 2009), em que cada agente busca a melhor taxa de juros no mercado (e.g., caso uma empresa identifique um credor que lhe ofereça uma taxa de juros menor do que a paga atualmente, a empresa irá trocar seu antigo mutuante pelo que lhe ofereça a melhor taxa) (Delli Gatti et al., 2009). A produção de bens de consumo é relativa ao nível de capital próprio das empresas produtoras, sendo este a principal causa de flutuações na economia, visto que a receita e a demanda por mão-de-obra das empresas fornecedoras dependem da produção das empresas produtoras. Os resultados encontrados confirmam que a fragilidade financeira dos agentes impactam os *business cycles* (Bernanke & Gertler, 1989), i.e., choques na economia afetam a condição financeira dos agentes de forma à causar uma fragilidade que amplifica o choque inicial, tal efeito é citado pelos autores como *network-based financial accelerator*. Também é identificado que em momentos de crescimento na economia, observa-se uma maior concessão de créditos, o que leva a uma maior alavancagem e, consequentemente, a um maior risco sistêmico, corroborando com resultados empíricos encontrados por Bonfim (2009).

Compreendendo que mudanças no grau de alavancagem financeira também contribuem para ampliações de choques na economia, Riccetti, Russo, e Gallegati (2013) enriqueceram o modelo de Delli Gatti et al. (2010), buscando modelar o ciclo de alavancagem, no qual ao invés de considerar que a empresa financia seus projetos com capital próprio e, caso esse não seja suficiente, recorre à obtenção de crédito (Delli Gatti et al., 2010), tal artigo propõe a utilização do *dynamic trade-off theory*. Na seguinte teoria, a firma estabelece metas de longo prazo para a sua alavancagem, realizando ajustes ao longo do tempo. Feitas as simulações, observou-se que com o aumento da alavancagem há uma maior volatilidade na produção e um aumento de defaults,

emergindo o efeito pró-cíclico na economia, de forma que o impacto gerado seja ainda maior do que o visto em Delli Gatti et al. (2010) com relação ao *network-based financial accelerator*. O modelo buscou também compreender as implicações de políticas monetárias na economia, onde em momentos de redução da taxa básica de juros por parte do banco central, visando aquecer a economia, há um aumento na alavancagem financeira por parte das empresas, o que se traduz há um maior risco de uma sequência de falências na economia. Em Catullo, Gallegati, e Palestrini (2015), considera-se que não só as empresas possuem uma alavancagem-alvo, mas também os bancos, nos quais tal alvo é modelado de acordo com um mecanismo de aprendizagem, e não somente de observações passadas, conforme proposto em Riccetti et al. (2013). Com isso, em Catullo et al. (2015), foi modelado um indicador para identificar potenciais crises futuras, o qual considera a conectividade entre os bancos, sua alavancagem e o volume de empréstimos. Ajustando os parâmetros com dados do mercado japonês, constatou-se que o indicador foi capaz de identificar futuras contrações econômicas.

A calibração dos parâmetros que compõe a topologia do *network* elaborado pelo modelo de Riccetti et al. (2013), de forma a gerar simulações que melhor representam os resultados encontrados de acordo com dados reais do mercado japonês, foi feita por Bargigli, Gallegati, Riccetti, e Russo (2014). Visto que as distribuições encontradas com os dados do mercado japonês apresentam uma distorção maior com relação ao número de crédito distribuído pelos bancos e à posição financeira dos mesmo, as modificações na estrutura do network se basearam em ajustar tais distribuições. Com isso, a calibração se baseou no parâmetro que determina a propensão da empresa em trocar de um banco para outro de acordo com a melhor taxa de juros oferecida, buscando o valor que melhor representa os dados empíricos observados. Observou-se que quanto maior é o valor de tal parâmetro, maior será a tendência do mercado de crédito se concentrar nos grandes bancos, aumentando a concentração do mercado.

Em Assenza, Delli Gatti, e Grazzini (2015), é feita uma modelagem na qual apresenta uma evolução no modelo original de Delli Gatti et al. (2010) no que diz respeito em considerar que as empresas não sabem qual será sua demanda, i.e., não sendo capaz de escolher qual será a escala ótima de produção. Uma vez escolhido o preço de venda, ela buscará maximizar seu resultado, sujeito à uma expectativa de demanda por ela criada. Isso significa que pode haver estoques de produtos não vendidos em caso de demanda superestimada, ou clientes insatisfeitos em caso desta ser subestimada. Como ambos os caso são prejudiciais à empresa, ela buscará minimizar a distância não só entre produção e demanda, mas também entre o preço cobrado e a média de mercado, usando informações passadas (Assenza et al., 2015). O artigo ainda compara as séries temporais geradas pelas simulações com as observadas na economia, focalizando nas variáveis Produto Interno Bruto (PIB), consumo, investimento e desemprego. Encontrou-se que tanto nas séries temporais artificiais e observadas, a autocorrelação de todas as variáveis é positiva e elevada. A adaptação comportamental dos agentes proposta pelo modelo é capaz de reproduzir grandes crises através de pequenos choques idiossincráticos, conforme observado em Delli Gatti et al. (2010); Riccetti et al. (2013).

A oferta de linhas de crédito por parte dos bancos pode exercer um grande impacto na

economia, como visto na crise financeira de 2008 (Kalemli-Ozcan et al., 2012). Em tal período houve uma queda substancial na oferta de crédito, podendo ser atribuída, dentre outras possibilidades, à uma redução de depósitos financeiros e a um maior risco de retirada de fundos pelas empresas, gerando consequências como o aumento dos *spreads* cobrados, fazendo com que os bancos elevassem as taxas de juros (Ivashina & Scharfstein, 2010). Expectativas em torno de qual será a oferta de crédito na economia também podem levar à uma situação de fragilidade financeira (Allen & Gale, 2000a).Visto que nos trabalhos anteriores o foco se deu principalmente acerca das atitudes dos mutuários, em Asanuma (2012) é estudado o impacto que as atitudes dos credores geram na economia. As atitudes são consideradas como sendo otimistas, i.e., empréstimos são ofertados a uma taxa de juros baixa dado o risco de *default* calculado por indicadores de alavancagem financeira, e como sendo pessimistas caso contrário. A principal contribuição da modelagem feita por Asanuma (2012) é considerar o quanto o banco deverá conceder às empresas, em que tal oferta é sujeita às atitudes citadas, e não à quantidade de depósitos existentes no banco. Resultados provenientes das simulações mostram que atitudes referentes aos empréstimos funcionam também como um *financial accelerator*, onde a oferta de crédito leva a um maior desenvolvimento econômico (B. Greenwald, Stiglitz, & Weiss, 1984), mas também pode levar a um comportamento excessivamente otimista, fragilizando todo o sistema financeiro. Foi identificado também que existe uma atitude ótima de concessão de empréstimos, a qual apresenta um caminho estável para o crescimento econômico.

Linhas de crédito ofertadas não somente para empresas, mas também para consumidores, foram estudadas por Russo, Riccetti, e Gallegati (2015), onde crédito para consumidores permite o aumento da demanda por bens produzidos pelas empresas, as quais produzem mais e necessitam de uma maior mão-de-obra, reduzindo o desemprego. Porém, resultados das simulações apontaram que após um certo período, o pagamento de juros por parte dos consumidores reduz seu patrimônio e consequentemente seu consumo. Com isso, os consumidores podem pedir por mais crédito, fazendo com que o consumo permaneça estável, mas aumentando o risco de *default* e a fragilidade econômica pelo fato da existência de um maior endividamento.

Em uma análise alternativa para compreender a dinâmica macroeconômica e instabilidades financeiras, em Riccetti, Russo, e Gallegati (2015) é feita uma análise com relação aos dividendos distribuídos por bancos e empresas, os quais reduzem o patrimônio líquido das empresas fazendo com que estas dependam mais de empréstimos. O mesmo raciocínio se aplica aos bancos, onde mais dividendos reduzem seu capital resultando em um racionamento de crédito, o qual pode enfraquecer a economia pelo fato de empresas não serem capazes de levantar fundos suficientes para sua produção, sendo então obrigadas a reduzi-la, aumentando a volatilidade do sistema financeiro e macroeconômico (Riccetti et al., 2015). Embora maiores forem os dividendos distribuídos maior o risco econômico, as simulações apontaram que até certo nível de distribuição, não há grandes impactos macroeconômicos. Mas quantidades acima de tal nível são capazes de gerar crises em todo o sistema.

Em Xiong et al. (2009), a modelagem realizada busca compreender quais taxas de juros cobradas por bancos são capazes de representar o risco atrelado ao crédito de forma a não

prejudicar o lucro dos bancos. De acordo com os autores, o problema que tais taxas de juros enfrentam é não conseguir atribuir todo o risco de crédito, apresentando uma taxa mais reduzida, ou então atribuir riscos excessivos de forma a elevá-la. Utilizando a perspectiva de bancos chineses, primeiramente simulou-se as interações com taxas fixas de juros e, posteriormente, com taxas de juros que variam conforme a situação financeira tanto da empresa quanto do banco (Xiong et al., 2009). Observou-se que a receita do banco, utilizando o modelo de taxas de juros variáveis, superou a receita máxima obtida através do modelo com taxas fixas.

Nos artigos até então apresentados, se considerou somente a conexão entre empresas e bancos, mas há um outro tipo de conexão que também pode funcionar como um mecanismo de contágio na economia, conexão a qual é conhecida como *inter-bank network*. O mercado interbancário possui uma importante função em redistribuir os fundos entre os bancos, fazendo com que o impacto de uma crise financeira seja atenuado (Allen & Gale, 2000b), de forma a pulverizar riscos individuais ao longo do *network*, reduzindo o risco sistêmico (Battiston, Gatti, Gallegati, Greenwald, & Stiglitz, 2012). Na pesquisa empírica realizada por Angelini, Maresca, e Russo (1996) com dados de bancos italianos, foram encontradas pequenas evidências de que uma crise sistêmica pode se espalhar através do mercado interbancário.

Trabalhos recentes vêm contrariando conclusões como as de Angelini et al. (1996) e Allen e Gale (2000b), a qual esta última afirma que quanto maior for a conexão no sistema bancário, mais protegida a economia estará contra choques idiossincráticos. Entretanto, uma maior conexão interbancária não contribui para o crescimento econômico, não facilitando concessões de crédito à empresas, mas acaba gerando um maior risco sistêmico na economia (Tedeschi et al., 2012). Com o objetivo de analisar possíveis razões para os problemas atrelados à uma grande diversificação, o modelo de Battiston, Delli Gatti, et al. (2012) identificou que o *financial accelerator* tem a capacidade de desestabilizar os benefícios da diversificação proveniente de uma maior conexão interbancária. Isto se deve ao fato de, como observado em Delli Gatti et al. (2010), o *financial accelerator* amplifica choques de um único agente por toda a economia, i.e., quanto mais conectada uma ela se torna, maiores serão os riscos de uma potencial crise. Embora em situações onde haja uma alta conectividade no mercado interbancário resultem em um maior risco sistêmico (Grilli et al., 2014b), quando tal conectividade cresce somente até certo ponto, essa é capaz de reduzir recessões e sua duração, devido ao fato da distribuição de riscos se sobressair em relação ao risco sistêmico (Grilli et al., 2014a).

Capítulo 3

Método

Seguindo o modelo de Grilli et al. (2014a), é considerado uma economia com três tipos de mercados: mercado de bens de consumo, mercado de crédito e o mercado interbancário. O sistema é composto por um número constante de empresas e bancos, sendo as decisões tomadas por esses agentes desenvolvidas em um tempo discreto $t = 1, 2, \ldots, T$.

As empresas determinam sua produção ótima e vendem todos os seus produtos no mercado de bens. Como a produção depende somente do nível de capital da empresa, o quanto a empresa irá produzir segue as movimentações de seu capital, as quais são determinadas pelos investimentos. Tais investimentos dependem da taxa de juros cobrada pelos bancos e do grau de alavancagem financeira, i.e., quanto maior for estes valores, menor será o investimento (Grilli et al., 2014a).

O mercado de crédito existe para que a empresa, em cada período, consiga alcançar seu nível ótimo de produção, em que caso a firma não tenha o capital próprio suficiente, esta recorre aos bancos solicitando o crédito necessário. Por outro lado, somente uma parte do capital próprio dos bancos vai para o mercado de crédito pelo fato dos bancos adotarem uma medida de gerenciamento de risco. Quando o banco não possui a liquidez necessária para o empréstimo, este recorre ao mercado interbancário para garantir que o empréstimo seja concedido (Grilli et al., 2014a).

3.1 Empresas

Em tal modelagem, o sistema possui uma população finita de empresas caracterizado por $i = 1, 2, \ldots, N$, produzindo bens de acordo com o capital $(K_{i,t})$ utilizado. Em cada período t as empresas buscam maximizar seus lucros. Conforme proposto em B. C. Greenwald e Stiglitz (1993), as empresas vendem toda sua produção a um preço $P_{i,t}$. A função de produção é dada por:

$$Y_{i,t} = \phi K_{i,t} \tag{3.1}$$

sendo ϕ a produtividade do capital, a qual é constante e uniforme entre as empresas.

A fim de aumentar sua produção, a empresa i pode escolher se auto-financiar através de

seu patrimônio líquido $(A_{i,t})$, ou recorrer à um empréstimo bancário $(L_{i,t})$. Com isso, o nível de capital da empresa se desenvolve de acordo com $K_{i,t} = A_{i,t-1} + L_{i,t}$. Quando uma empresa i recorre a empréstimos bancários, esta têm que pagar os juros e o principal nos próximos τ períodos. Com isso, seu compromisso de dívida é dado por $\bar{L}_{i,t} = L_{i,t}\frac{(1+r_t^{j,i})^\tau}{\sum_t^\tau(1+r_t^{j,i})}$, sendo $r_t^{j,i}$ a taxa de juros paga pela empresa i ao banco j. Por consequência, o lucro apurado no período t é dado por:

$$\pi_{i,t} = u_{i,t}Y_{i,t} - \bar{L}_{i,t} \tag{3.2}$$

em que $u_{i,t}$ se refere ao preço relativo do produto vendido pela empresa i, dado por $u_{i,t} = \frac{P_{i,t}}{P_t}$, o qual é uma variável aleatória com valor esperado $E(u_{i,t}) = 1$ e P_t sendo o valor de mercado.

O patrimônio líquido, assumindo que todos os lucros são retidos pela empresa i, é dado por:

$$A_{i,t} = A_{i,t-1} + \pi_{i,t} \tag{3.3}$$

Consequentemente, a empresa i pode ir à falência quando $A_{i,t} < 0$ devido à incertezas no ambiente, isto é, quando seu patrimônio líquido é pequeno a ponto de pequenos choques na economia levarem a empresa à falência (B. C. Greenwald & Stiglitz, 1993).

De acordo com Grilli et al. (2014a), o problema da firma consiste em maximizar o lucro esperado menos os custos de falência. Tal afirmação é representada por $\Gamma_{i,t} = E(\pi_{i,t}) - cY_{i,t}^2F(r_t^{i,t}, l_{i,t})$. Maximizando tal equação, se obtém o capital ótimo da empresa (Grilli et al., 2014a), o qual é dado pela seguinte equação:

$$K_{i,t}^* = \frac{\phi}{2c\phi(\lambda r_t^{j,i} + (1-\lambda)l_{i,t})} + \frac{c\phi A_{i,t}}{2c(\lambda r_t^{j,i} + (1-\lambda)l_{i,t})} \tag{3.4}$$

sendo $l_{i,t} = \frac{\bar{G}_{i,t}}{A_{i,t-1}}$ a alavancagem financeira da empresa i de acordo com a quantidade de dívida existente $(\bar{G}_{i,t})$ e seu patrimônio líquido $(A_{i,t-1})$. A empresa i pode atingir o nível de capital ótimo recorrendo ao seu patrimônio líquido e, caso este não seja suficiente, recorrer ao crédito bancário, gerando uma demanda por crédito igual a $L_{i,t}^d = K_{i,t}^* - A_{i,t}$.

3.2 Bancos

O ambiente possui um conjunto de bancos $j = 1, \ldots, B$, no qual a oferta de crédito depende não somente das reservas de cada banco, mas como esses sofrem regulações financeiras, cada banco j concede $\frac{1}{\alpha}$ de seu patrimônio líquido $(E_{j,t})$ (Grilli et al., 2014a). Com isso, a oferta de crédito é dada por:

$$S_{j,t} = \frac{E_{j,t-1}}{\alpha}. \tag{3.5}$$

Buscando introduzir uma medida de risco mais robusta, é acrescentado por Grilli et al. (2014a) o coeficiente de aversão ao risco dos bancos, em que o banco j concede um empréstimo

à empresa i com uma certa probabilidade $p_t^{j,i}$, a qual é dada por:

$$p_t^{j,i} = 1 - \chi \left(\frac{\bar{G}_{i,t}}{S_{j,t}} \right)^{\psi} \tag{3.6}$$

sendo $\chi \in [0, 1]$ o coeficiente de aversão ao risco, i.e. quanto maior seu valor, maior será a aversão do banco ao risco. $\bar{G}_{i,t}$ representa a quantidade de dívida existente da empresa i e ψ é um parâmetro de elasticidade.

Como a principal função do banco é fornecer empréstimos às empresas, sendo este um dos elementos responsáveis pelos lucros do banco, a taxa de juros cobrada pelo banco j à empresa i é igual a:

$$r_t^{j,i} = \delta_j (l_{i,t})^{\theta} \tag{3.7}$$

sendo δ_j uma variável aleatória independente e igualmente distribuída, $l_{i,t}$ representado a alavancagem da empresa i e $0 < \theta < 1$.

3.3 *Network* entre agentes

Caso a empresa i necessite de um empréstimo (i.e. $L_{i,t}^d > 0$), essa começa a contactar um número aleatório de bancos com uma probabilidade x. O link entre as empresas e bancos é constituído pela probabilidade x de se assumir os valores 0 ou 1, sendo o valor 1 significando que pode haver uma conexão entre a empresa i e o banco j, enquanto zero indica nenhuma conexão. Uma vez contactado, o banco j irá avaliar o risco, de acordo com a Equação 3.6, e sua liquidez (i.e. $S_{j,t} > L_{i,t}^d$), divulgando então sua taxa de juros $r_t^{j,i}$. A empresa i, após analisar as diversas taxas de juros dos bancos contactados, irá escolher o banco que oferecer a menor taxa (Grilli et al., 2014a).

Em situações nas quais o banco não possua toda a liquidez necessária para suprir a demanda da empresa (i.e. $S_{j,t} < L_{i,t}^d$), o banco pode recorrer ao mercado interbancário. Em tal mercado, semelhante ao de crédito, o banco requerente (mutuário j_b) irá solicitar à um número de bancos (credores k_l) escolhidos aleatoriamente de acordo com uma probabilidade ρ (Grilli et al., 2014a).

Assim como no mercado de crédito, o link entre os bancos no mercado interbancário é constituído pela probabilidade ρ de se assumir os valores 0 ou 1, sendo ρ a probabilidade desta assumir o valor 1 (Grilli et al., 2014a). O processo de análise para concessão de crédito por parte do banco k_l ao banco j_b se dá da mesma maneira vista no mercado de crédito entre empresas e bancos, mas sendo $l_{j_b,t}$ a alavancagem do banco j_b utilizada para o cálculo da taxa de juros explicitado pela Eq.(3.7).

Ao final de cada período, o lucro apurado pelos bancos é dado por:

$$\pi_{j,t} = \frac{1}{\tau} \left[\sum_{i,t-\tau \leq t' < t} L_{i,t'} r_{t'}^{i,j} + \sum_{j,t-\tau \leq t' < t} L_{j,t'} r_{t'}^{j,k} \right] - \bar{r}_{j,t} \left(D_{j,t-1} + E_{j,t-1} \right). \tag{3.8}$$

O lucro do banco é interpretado como sendo os juros cobrados no mercado de crédito e no mercado interbancário, menos os juros pagos sobre depósitos e patrimônio líquido, sendo $\bar{r}_{j,t}$ a taxa média obtida pelo banco j no mercado de crédito. Com isso, o patrimônio líquido dos bancos se desenvolve de acordo com:

$$E_{j,t} = E_{j,t-1} + \pi_{j,t} - \sum_{i \in \Omega_t} B_{t-1}^{i,j} - \sum_{k \in \Xi_t} B_{t-1}^{k,j} \tag{3.9}$$

sendo os dois últimos termos referentes aos *defaults* sofridos pelo banco j tanto no mercado de crédito quanto no mercado interbancário. Bancos que foram a falência deixam o mercado. Novos entrantes repõem as empresas e bancos que saíram do mercado com uma estrutura de capital igual aos valores estipulados para a inicialização da simulação.

Capítulo 4

Resultados e discussões

Nesta seção, os resultados obtidos são ilustrados e discutidos. A economia modelada neste trabalho consiste em $N = 100$ empresas e $B = 50$ bancos, onde esses agentes interagem entre si ao longo de $T = 100$ períodos. Para a inicialização da simulação, cada empresa é constituída pela estrutura de capital proposta em Grilli et al. (2014a), onde o nível de capital $K_{i,0} = 100$, o patrimônio líquido $A_{i,0} = 65$ e empréstimo $L_{i,0} = 35$. A Tabela 4.1 apresenta os demais parâmetros do modelo.

Símbolo	**Descrição**	**Valor**
τ	Número de períodos para pagamento da dívida	4
ϕ	Produtividade do capital	0,1
c	Custo de falência	1
λ	Constante	0,08
α	Regulação bancária	0,1
χ	Coeficiente de aversão ao risco	0,8
ψ	Parâmetro de elasticidade	0,1
θ	Constate	0,05
x	Probabilidade de conexão entre empresa-banco	0,1
ρ	Probabilidade de conexão entre banco-banco	0,2

Tabela 4.1: Parâmetros

O modelo apresentado neste trabalho se mostrou bastante sensível aos parâmetros ϕ e λ, os quais tiveram que ser alterados com relação ao modelo proposto em Grilli et al. (2014a) para que resultados satisfatórios fossem gerados.

Como o objetivo do presente trabalho é analisar o comportamento de bancos e empresas em relação à algumas variáveis importantes, para cada parâmetro estudado, rodou-se 10 simulações independentes para cada alteração no parâmetro em questão.

Na Seção 4.1 analisa-se o comportamento dos bancos e empresas com relação aos parâmetros estipulados inicialmente, nas Seções 4.2 e 4.3 é analisado o impacto gerado pelas conexões entre empresa-banco e no mercado interbancário. A Seção 4.4 verifica os resultados gerados por um aperto ou afrouxamento nas condições de pagamento da dívida. A Seção 4.5 analisa o efeito que a estrutura de capital inicial das empresas gera na economia e, por último, a Seção 4.6 analisa o impacto que uma restrição no mercado interbancário provoca na economia.

4.1 Parâmetros base

Neste primeiro momento, para entender como as interações entre os agentes afetam a economia e suas variáveis intrínsecas, realizou-se uma simulação com os parâmetros delimitados na Tabela 4.1. A Figura 4.1 apresenta a evolução de seis variáveis referentes às empresas ao longo dos cem períodos da simulação. Observa-se que todas as variáveis seguem o mesmo ciclo devido ao seguinte fluxo: (1) as empresas possuem um nível de capital ótimo; (2) caso a empresa não tenha um patrimônio líquido suficiente para atender ao capital ótimo, ela recorre à um empréstimo; (3) com o empréstimo, a empresa atinge seu capital ótimo o qual é utilizado para gerar sua produção ($Y_{i,t}$); (4) essa produção então é revertida em lucro ($\pi_{i,t}$); (5) e o lucro do período é acrescentado ao patrimônio líquido da empresa ($A_{i,t}$).

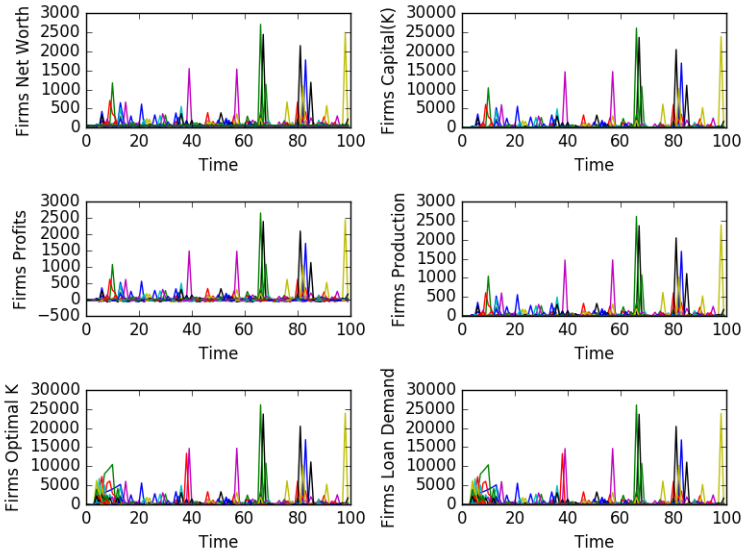

Figura 4.1: Evolução do comportamento das empresas.

A Figura 4.2 apresenta as variáveis relacionadas aos bancos, na qual o gráfico referente à alavancagem dos mesmos, sendo este o gráfico no canto inferior esquerdo da Figura 4.2, juntamente com a Figura 4.3, levantam um ponto relevante. Períodos de elevados números de bancos que decretaram falência são precedidos de uma alta alavancagem no setor bancário, podendo levantar a questão de que alavancagem, principalmente no setor bancário, é um fator de risco na economia (Ramadan, 2012). Tal fato segue em linha com o estudo empírico de Kalemli-Ozcan et al. (2012), o qual analisou a alavancagem de bancos americanos e europeus entre os anos 2000-2009. A partir dos resultados observados, a agressividade dos bancos em fornecer crédito na economia cria um ambiente instável e propenso à crises, pois nos primeiros períodos da simulação os bancos não possuem uma grande disponibilidade de crédito para atender a demanda das empresas, havendo uma grande necessidade de recorrer ao mercado interbancário e, consequentemente, aumentando a dívida. É importante que bancos e órgãos reguladores analisem constantemente o mercado interbancário para que não haja uma intensa contração de dívidas por parte dos bancos, dado que uma alavancagem excessiva no setor bancário é um indicativo de crise e um elevado número de falências conforme observado na Figura 4.3.

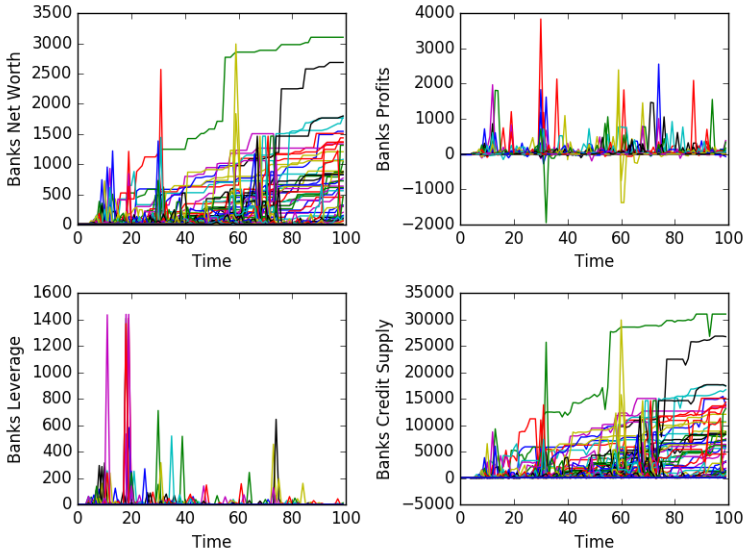

Figura 4.2: Evolução do comportamento dos bancos.

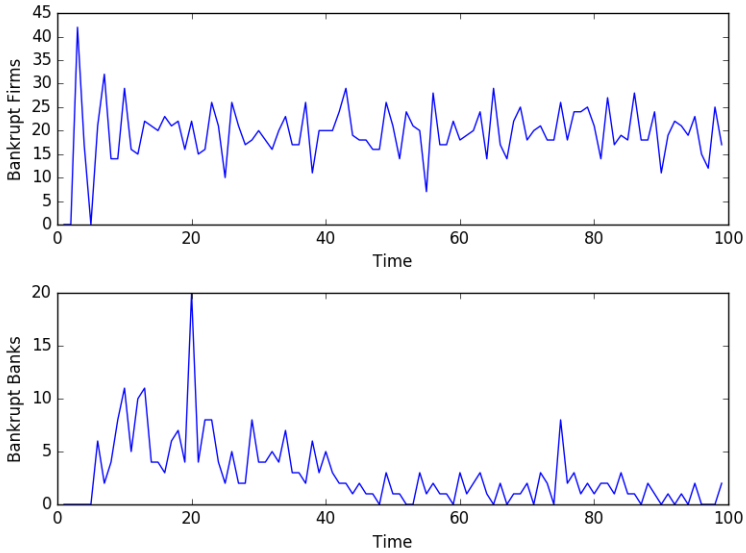

Figura 4.3: Número de empresas e bancos falidos em cada período.

4.2 Probabilidade de conexão entre banco-banco (ρ)

O mercado interbancário exerce uma função fundamental na economia, em que a grande dependência dos bancos nesse mercado pode gerar um *financial contagion*, o qual pode fragilizar toda a economia (Tedeschi et al., 2012). Em casos nos quais um banco é atingido por um choque idiossincrático, este pode se espalhar através das conexões interbancárias, devido ao fato de o *default* de um banco impactar diretamente no balanço de sua contra-parte e assim sucessivamente, o que prejudica a estabilidade da economia (Kuzubas, Saltoglu, & Sever, 2016).

Utilizou-se o parâmetro ρ para analisar os impactos gerados pelo mercado interbancário, devido ao fato deste parâmetro determinar o quão conectados entre si estão os bancos neste mercado. Na Figura 4.4, observa-se que quanto maior a conectividade no mercado interbancário, maior será a alavancagem dos bancos, o que resulta em uma economia mais arriscada, havendo

um maior número médio de bancos que foram a falência ao longo da simulação, o que pode fazer com que a falência de somente um banco pode afetar vários outros, dependendo do número de links que esse banco possui, ampliando a instabilidade sistêmica (Krause & Giansante, 2012; Ladley, 2013; Lengnick, Krug, & Wohltmann, 2013). De acordo com Ramadan (2012), um maior nível de risco normalmente é acompanhado por um maior potencial de lucro para os bancos, mas conforme observado na Figura 4.4, não há um aumento significativo no lucro dos bancos. Em Grilli et al. (2014a) e Iori, Jafarey, e Padilla (2006) a performance dos agentes é melhorada até um certo nível de conectividade considerado pseudo-ótimo pelos autores, em que o mercado interbancário contribui para o *risk sharing* na economia, mas quando essa conexão se torna elevada, há um aumento no risco sistemático. No presente trabalho não foi encontrado um nível pseudo-ótimo para o nível de conectividade representado pelo parâmetro ρ. Em Ladley (2013) também não é encontrado um nível de conectividade que minimiza o efeito de choques na economia.

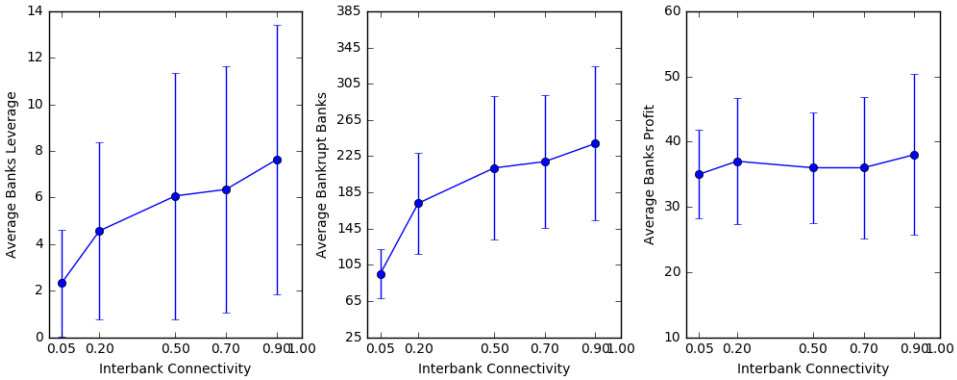

Figura 4.4: Comportamento dos bancos em relação a conectividade interbancária.

Com relação as empresas, o mercado interbancário parece exercer uma influência negativa, o que levanta a hipótese de que quanto maior for a conectividade no mercado interbancário, maior será a disponibilidade dos bancos em emprestar para as empresas, pois terão uma maior probabilidade de captar recursos no mercado interbancário. Com isso, as empresas terão uma dívida maior e, conforme representado na Figura 4.5, terão seus lucros e patrimônio líquido reduzidos. Em Tedeschi et al. (2012) a conexão no mercado interbancário não apresenta efeitos nas empresas, contrariando os resultados obtidos, os quais sugerem que a conectividade interbancária facilita a concessão de crédito para a empresa, conforme explicado no início do parágrafo.

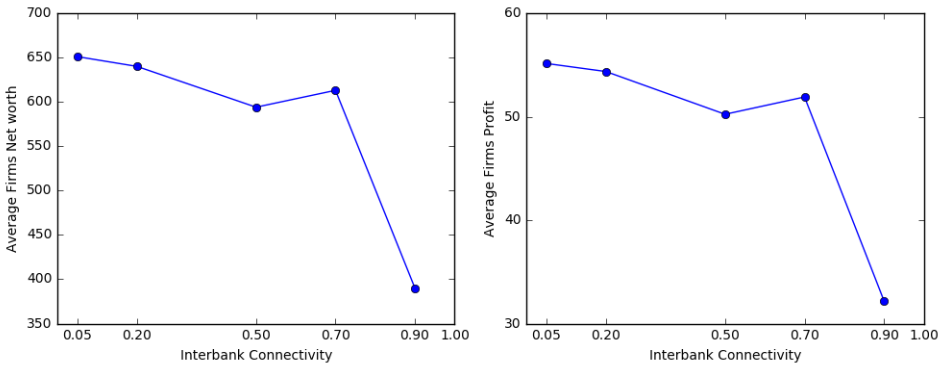

Figura 4.5: Comportamento das empresas em relação a conectividade interbancária.

4.3 Probabilidade de conexão entre empresa-banco (x)

De acordo com Allen e Gale (2000a), bolhas e crises são precedidas primeiramente por um aumento na propensão ao crédito no mercado, fazendo com que essa expansão do crédito estimule investidores e empresas a financiar investimentos arriscados. Com o intuito de analisar o impacto que uma maior liberação de crédito para financiar a produção das empresas gera na economia modelada neste trabalho, utilizou-se o parâmetro x, o qual representa a probabilidade de haver um link entre empresa e banco.

A Figura 4.6 apresenta um resultado já esperado, em que quanto maior for o parâmetro x, haverá uma maior probabilidade da empresa financiar sua produção via empréstimos, consequentemente, levando à uma maior alavancagem por parte das empresas. Devido ao maior acesso ao mercado de crédito, as empresas conseguem levantar fundos para financiar seu nível de capital ótimo. Com isso, a produção da empresa se eleva juntamente com os seus lucros e patrimônio líquido, conforme observado na Figura 4.6. Mas quando há uma grande dependência da empresa em empréstimos, conforme observado no ponto em que $x = 0,9$, a empresa sofre uma perda de valor em seu valor patrimonial e em sua lucratividade devido à um endividamento elevado. Em Davydov (2016), analisou-se o impacto que empréstimos bancários geram em empresas inseridas em economias emergentes como Brasil, Rússia, Índia e China, e chegou-se a conclusão de que um elevado endividamento proveniente de empréstimos bancários resulta em lucros maiores, onde até certo ponto está em linha com os resultados obtidos e apresentados na Figura 4.6.

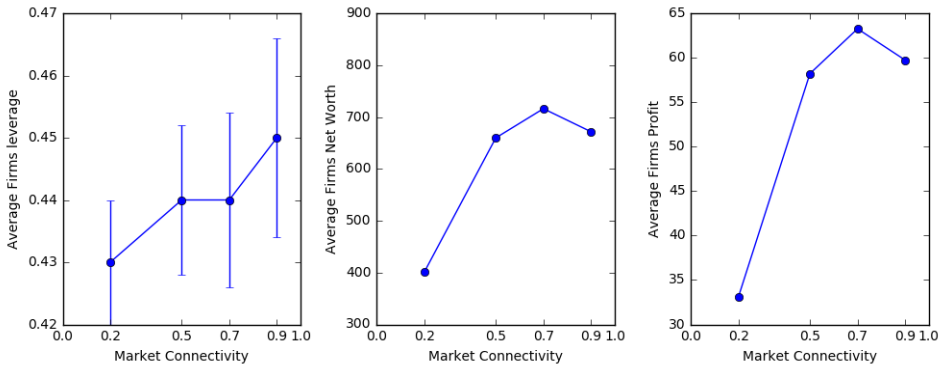

Figura 4.6: Comportamento das empresas em relação a conectividade entre empresa-banco.

Entretanto, com um aumento na alavancagem e, consequentemente, uma maior dívida das empresas, a economia se torna mais arriscada (Riccetti et al., 2013), onde quanto maior for o parâmetro x, maior é o número de empresas e bancos indo a falência. Isso se deve pelo fato de que quanto mais alavancada a empresa se torna, maior será a taxa de juros cobrada pelos bancos, onde o lucro de empresas pequenas pode não ser suficiente para cobrir suas despesas financeiras, podendo levá-las a falência, conforme observado na Figura 4.7. Com um maior número de empresas indo à falência, bancos registram uma maior perda em seu balanço, o que pode deixá-los fragilizados.

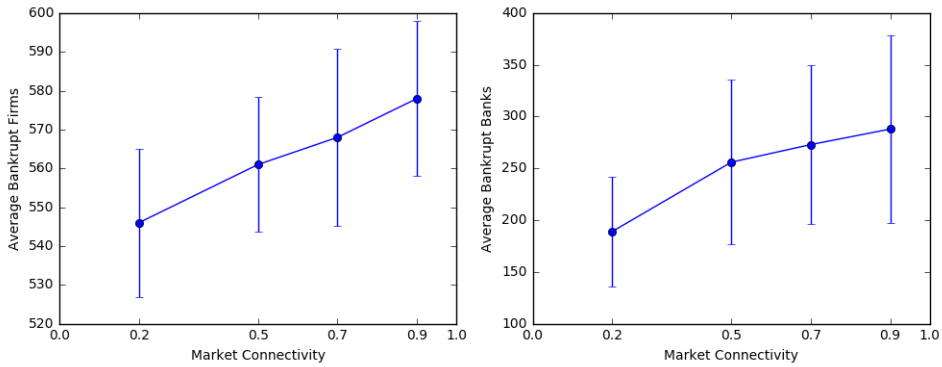

Figura 4.7: Número médio de empresas e bancos falidos em relação a conectividade entre empresa-banco.

4.4 Número de períodos para pagamento da dívida (τ)

Com o intuito de analisar o efeito que um maior aperto ou afrouxamento na condições de pagamento da dívida gera na economia, utilizou-se o parâmetro τ, o qual define o número de períodos em que a dívida deverá ser paga. Conforme observado na Figura 4.8, quanto maior for o valor de τ, maior será o lucro e patrimônio líquido das empresas devido ao fato das mesmas necessitarem pagar uma quantia menor por período, não impactando tanto seus balanços. Tal resultado é refletido no menor número médio de empresas falidas, representado na Figura 4.9 quando há um maior período para pagamento das parcelas da dívidas.

Com relação aos bancos, é observado uma tendência inversa à das empresas, onde quanto maior for o valor de τ, pior serão seus lucros e, consequentemente, o patrimônio líquido. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de um maior número de períodos para pagamento da dívida faz com que os bancos recebam uma parcela menor por período, o que abre espaço para o banco registrar perdas em seu balanço devido a sua maior exposição caso sua contra-parte falir nesse meio tempo.

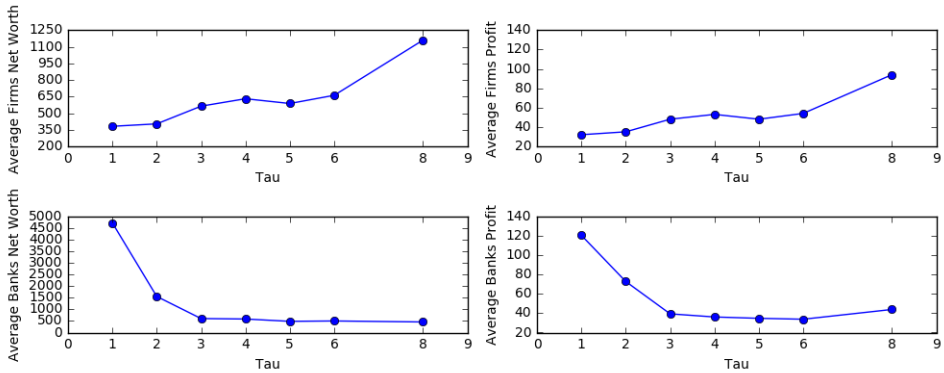

Figura 4.8: Patrimônio líquido e lucro médio de empresas e bancos em relação à τ.

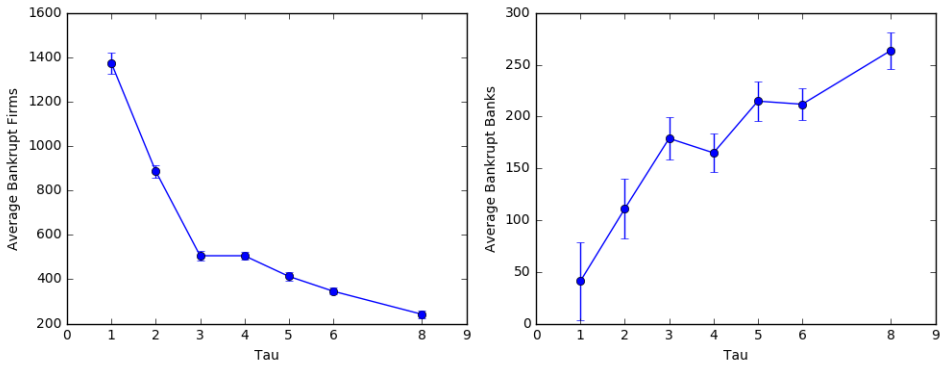

Figura 4.9: Número médio de empresas e bancos falidos em relação à τ.

4.5 Estrutura de capital das empresas (A_i e L_i)

A teoria de Modigliani e Miller, conforme explicado em Berk e DeMarzo (2009), afirma que, em mercados de capitais perfeitos, o valor de uma empresa não deve ser influenciado por sua estrutura de capital, pois a alavancagem aumenta o risco das ações de uma empresa, o que resulta na exigência de um retorno esperado maior por parte dos investidores para compensá-los pelo risco.

Para verificar o efeito que a estrutura de capital gera na economia, aumentou-se o valor do empréstimo inicial de forma que $A_{i,0} + L_{i,0} = 100$. Conforme observado na Figura 4.10, quanto maior for o valor de $L_{i,0}$, menor será o lucro e patrimônio líquido médio das empresas no período, indo contrário à teoria de Modigliani e Miller. De acordo com o modelo apresentado neste trabalho, esse resultado pode ser explicado pelo fato de quanto maior for o empréstimo, maiores serão as obrigações financeiras das empresas, o que reflete diretamente em seus lucros. De acordo com Raberto, Teglio, e Cincotti (2012), uma alavancagem excessiva resulta em um maior número de empresas falidas. Esse resultado pode ser observado nas Figuras 4.10 e 4.11, onde a simulação que gerou a maior alavancagem resultou no maior número de empresas que foram à falência ao longo do período. Observa-se nas Figuras 4.10 e 4.11 que uma maior alavancagem torna a economia mais arriscada, com um aumento significativo de empresas indo à falência.

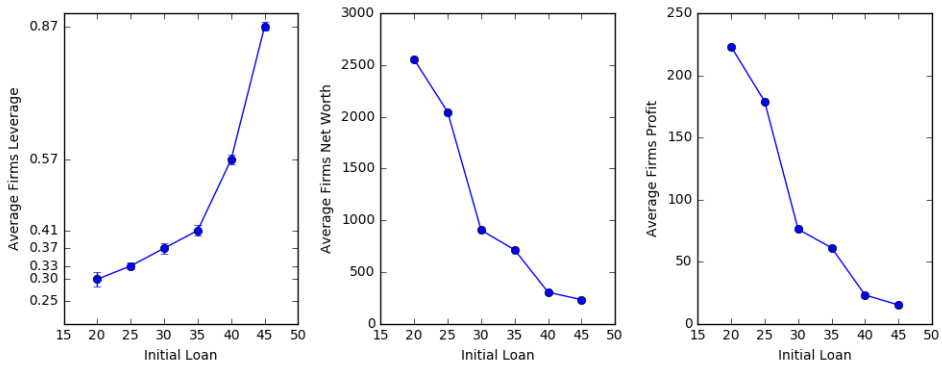

Figura 4.10: Alavancagem, patrimônio líquido e lucro médio das empresas em relação ao empréstimo inicial $L_{i,0}$.

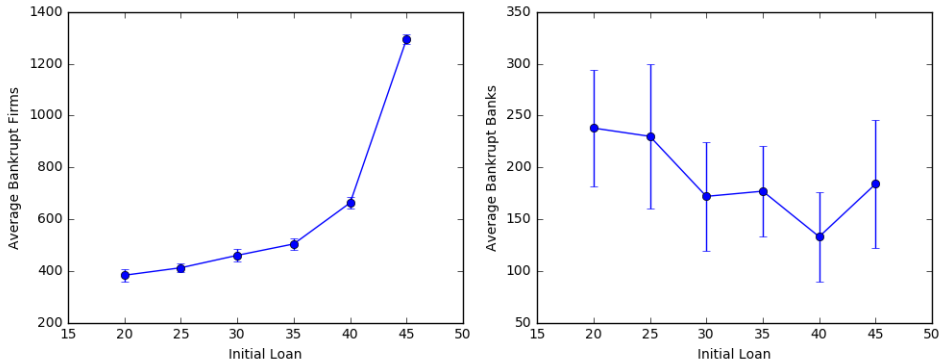

Figura 4.11: Número médio de empresas e bancos falidos em relação ao empréstimo inicial $L_{i,0}$.

4.6 Regulamentação no mercado interbancário

O mercado interbancário tem se mostrado um ponto crítico com relação a transmissão de choques na economia devido ao seu potencial de contágio. Com isso, entender como o risco sistêmico pode ser mitigado vêm se tornando uma das principais áreas de estudos relacionada à estabilidade financeira (Martinez-Jaramillo, Perez, Embriz, & Dey, 2010).

Descrição	Com restrição	Sem restrição
Alavancagem	$\mu = 0,63$ e $\sigma = 0,59$	$\mu = 5,39$ e $\sigma = 3,80$
Patrimônio Líquido	$\mu = 979,24$ e $\sigma = 270,25$	$\mu = 584,14$ e $\sigma = 166,16$
Falências	$\mu = 55,40$ e $\sigma = 14,19$	$\mu = 164,96$ e $\sigma = 67,09$

Tabela 4.2: Resultados gerados pela restrição no mercado interbancário.

Com o intuito de analisar os efeitos que uma restrição no mercado interbancário produz nos bancos, estabeleceu-se uma restrição em que um banco só pode solicitar um empréstimo à outro que possui um patrimônio líquido maior. Essa atitude faz com que haja uma maior chance do mercado interbancário absorver os impactos gerados pela falência de um banco, devido ao credor ser sempre maior que o tomador de empréstimo, reduzindo o risco sistêmico. A Tabela 4.2 mostra os resultados obtidos para os bancos nas simulações com e sem a restrição. Conforme observado na Tabela 4.2, a restrição imposta ao mercado interbancário reduz o risco na economia, com um número significativamente menor de bancos indo à falência e uma menor

alavancagem média. Além da redução de risco na economia, a restrição gera valor aos bancos, onde o patrimônio líquido médio dos mesmos é superior ao valor encontrado na simulação feita sem a restrição.

Capítulo 5

Comentários finais

Modelos macroeconômicos tradicionais, como o modelo apresentado em B. C. Greenwald e Stiglitz (1993), embora sejam a base para alguns modelos baseados em agentes, apresentam dificuldades em representar crises e bolhas na economia (Kirman, 2010). Parte dessas dificuldades se devem às premissas irrealistas que permeiam estes modelos tradicionais, como a de que os agentes são racionais. Em Kirman (2010), é feita uma crítica em que modelos macroeconômicos precisam ir além de uma economia em equilíbrio para que se possa ser analisado a influência que a ação de um agente gera na ação de outro e, dessa forma, entender e identificar potenciais crises e bolhas na economia.

Com o avanço de modelos matemáticos e técnicas computacionais, a modelagem baseada em agentes vêm se tornando uma alternativa aos modelos tradicionais devido a sua capacidade de reproduzir ambientes caracterizados pelo desequilíbrio, em que há uma interação entre agentes heterogêneos, a qual possibilita compreender o comportamento dos mesmos em situação de desequilíbrio (Ballot et al., 2014). Essa característica faz com que modelos baseados em agentes forneçam um *framework* em que é possível simular uma economia mais próxima da realidade e, dessa forma, realizar análises de possíveis políticas regulatórias com o intuito de mitigar riscos na economia.

Com o objetivo de analisar os resultados gerados pelas interações entre bancos e empresas, este trabalho utilizou o modelo proposto por Grilli et al. (2014a), o qual fornece uma construção teórica objetiva e em linha com os objetivos deste trabalho. O modelo é composto por empresas e bancos, no qual a empresa precisa de um nível de capital ótimo necessário para sua produção. Caso a empresa não tenha um patrimônio líquido suficiente para atender o nível de capital ótimo, ela recorre à um empréstimo bancário. Na situação em que os bancos não tenham recursos suficientes para conceder o empréstimo à empresa, este recorre ao mercado interbancário. Empresas e bancos vão à falência quando seu patrimônio líquido se torna negativo. Os agentes são interligados devido ao *network* modelado, o link entre os agentes ocorre com uma certa probabilidade.

Embora as análises feitas por Grilli et al. (2014a) se limitam a somente os resultados gerados pelo mercado interbancário, o presente trabalho buscou analisar não só o mercado interbancário, mas também a relação entre empresa e banco, restrição ou afrouxamento nas con-

dições de pagamento da dívida, a estrutura de capital das empresas e, por último, a implicação que uma regulamentação no mercado interbancário gera na economia.

Primeiramente, identificou-se que períodos que demostraram um grande número de bancos falidos, foram precedidos por uma elevada alavancagem no setor bancário, levantando a questão de que uma alavancagem excessiva neste setor é um fator de risco (Ramadan, 2012) devido ao fato de bancos terem elevadas dívidas e, caso alguma empresa ou banco ir à falência, ocorrer o efeito cascata na economia. Os impactos que o mercado interbancário gera na economia foi verificado alterando-se o parâmetro ρ, o qual determina a probabilidade de haver um link entre os bancos. Observou-se que quanto maior essa probabilidade, maior será a alavancagem dos bancos, o que é justificado pela maior propensão dos bancos em contrair dívidas e, consequentemente, maior será o número de bancos indo a falência.

Com o intuito de analisar as interações entre banco e empresa, foram realizadas simulações alterando o parâmetro x, o qual representa a probabilidade de haver um link entre uma empresa e um banco. Verificou-se que quanto maior for este parâmetro, maior será o endividamento das empresas devido à um maior número de bancos disponíveis a conceder empréstimos às empresas. Esse fato faz com que as empresas tenham capacidade de financiar seu nível ótimo de capital, sendo refletido em um aumento do patrimônio líquido. Entretanto, quando o endividamento se torna elevado, observa-se uma perda de valor da empresa.

Os resultados obtidos pela alteração do número de períodos para pagamento da dívida, representado pelo parâmetro τ, revelou que é positivo para empresa haver um maior número de parcelas, devido ao valor a ser pago pela empresa a cada período ser menor, não impactando de forma significativa os seus lucros. Entretanto, os lucros e patrimônio líquido dos bancos demostraram ser impactados de forma negativa quanto maior for o valor de τ. Esse resultado levanta a hipótese de que quanto maior for o prazo de pagamento, mais exposto se torna o banco ao risco de sua contra-parte falir.

Com relação a estrutura de capital inicial das empresas, verificou-se que quanto maior for o endividamento inicial, menor será o lucro e o patrimônio líquido médio das empresas devido à maiores obrigações financeiras das empresas.

No presente trabalho, analisou-se também o efeito que uma restrição no mercado interbancário gera na economia. A restrição implementada foi baseada no tamanho dos bancos, em que um banco pode solicitar um empréstimo somente à outro que possua um patrimônio líquido maior. Essa restrição fez com que o risco na economia fosse reduzido, com o menor número de banco falidos gerados em todas as simulações feitas. Dessa forma, há algumas sugestões para futuras análises utilizando o modelo apresentado neste trabalho. Uma alternativa é restringir o montante a ser emprestado por um banco, forçando o banco a não emprestar toda a sua oferta de crédito à somente outro banco e, consequentemente, diversifica-la (Ladley, 2013). Outra alternativa é restringir o tamanho dos bancos, evitando que existam os *too big to fail*. Lengnick et al. (2013) argumenta que a existência de grandes bancos na economia cria uma instabilidade endógena.

Embora este trabalho apresente alguns resultados que estão de acordo com estudos em-

píricos, para futuras pesquisas, é necessário a realização de testes estatísticos para verificar a consistência dos resultados encontrados. Além disso, para que o modelo se aproxime mais da realidade, sugiro considerar a existência de consumidores na economia, possibilitando o modelo ir além da suposição irrealista de que as empresas vendem toda a sua produção e passa a haver uma interação entre oferta e demanda com relação à produção da empresa. Também, para que haja um entendimento ainda mais profundo sobre o impacto que bancos e empresas geram na economia, futuros trabalhos devem analisar a produção da empresa e seu crescimento como uma proxy do Produto Interno Bruto (PIB) da economia simulada. Dessa forma, pode-se identificar quais parâmetro impactam a economia como um todo, e não somente bancos e empresas de forma separada.

O modelo apresentado, ainda que apresente as limitações citadas acima, contribui para literatura por demostrar o potencial da modelagem baseada em agentes na reprodução de dados em linha com estudos empíricos. Tendo os parâmetros calibrados corretamente, este tipo de modelagem tem a vantagem de não precisar coletar dados empíricos de um elevado número de bancos ou empresas, o que demanda tempo para identificar, coletar e limpar os dados e, além disso, permite a criação de inúmeros agentes heterogêneos capazes de simular uma economia e identificar momentos que precedem uma crise e sua causa. Além disso, este trabalho reforça a importância que regulamentações no mercado interbancário exercem na economia e, mais importante, demostra a capacidade do modelo em verificar de forma rápida e objetiva as implicações que tal restrição gera em uma economia.

Referências Bibliográficas

Allen, F., & Gale, D. (2000a, Jan). Bubbles and Crises. *The Economic Journal*, *110*(460), 236-255.
(Citado 2 vezes nas páginas 11 e 21.)

Allen, F., & Gale, D. (2000b). Financial Contagion. *Journal of Political Economy*, *108*(1), 1-33.
(Citado 1 vez na página 12.)

Angelini, P., Maresca, G., & Russo, D. (1996, Jun). Systemic risk in the netting system. *Journal of Banking & Finance*, *20*(5), 853-868.
(Citado 1 vez na página 12.)

Asanuma, D. (2012, Aug). Lending attitude as a financial accelerator in a credit network economy. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 231-247.
(Citado 2 vezes nas páginas 1 e 11.)

Assenza, T., Delli Gatti, D., & Grazzini, J. (2015, Jan). Emergent dynamics of a macroeconomic agent based model with capital and credit. *Journal of Economic Dynamics and Control*, *50*, 5-28.
(Citado 1 vez na página 10.)

Ballot, G., Mandel, A., & Vignes, A. (2014, Jun). Agent-based modeling and economic theory: where do we stand? *Journal of Economic Interaction and Coordination*, *10*(2), 199-220.
(Citado 3 vezes nas páginas 1, 5, e 27.)

Bargigli, L., Gallegati, M., Riccetti, L., & Russo, A. (2014, Mar). Network analysis and calibration of the "leveraged network-based financial accelerator". *Journal of Economic Behavior & Organization*, *99*, 109-125.
(Citado 1 vez na página 10.)

Bargigli, L., & Tedeschi, G. (2012, Oct). Major trends in agent-based economics. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, *8*(2), 211-217.
(Citado 2 vezes nas páginas 1 e 5.)

Battiston, S., Delli Gatti, D., Gallegati, M., Greenwald, B., & Stiglitz, J. E. (2012, Aug). Liaisons dangereuses: Increasing connectivity, risk sharing, and systemic risk. *Journal of Economic Dynamics and Control*, *36*(8), 1121-1141.
(Citado 3 vezes nas páginas 6, 7, e 12.)

Battiston, S., Gatti, D. D., Gallegati, M., Greenwald, B., & Stiglitz, J. E. (2012, Sep). Default cascades: When does risk diversification increase stability? *Journal of Financial Stability*,

8(3), 138-149.
(Citado 1 vez na página 12.)

Berk, J., & DeMarzo, P. (2009). *Corporate finance* (1st ed.). Pearson.
(Citado 1 vez na página 23.)

Bernanke, B., & Gertler, M. (1989). Agency Costs, Net Worth, and Business Fluctuations. *The American Economic Review*, *79*(1), 14-31.
(Citado 3 vezes nas páginas 7, 8, e 9.)

Bernanke, B., & Gertler, M. (1990). Financial Fragility and Economic Performance. *The Quarterly Journal of Economics*, *105*(1), 87-114.
(Citado 1 vez na página 8.)

Bonfim, D. (2009, Feb). Credit risk drivers: Evaluating the contribution of firm level information and of macroeconomic dynamics. *Journal of Banking & Finance*, *33*(2), 281-299.
(Citado 1 vez na página 9.)

Catullo, E., Gallegati, M., & Palestrini, A. (2015, Jan). Towards a credit network based early warning indicator for crises. *Journal of Economic Dynamics and Control*, *50*, 78-97.
(Citado 1 vez na página 10.)

Davydov, D. (2016, Sep). Debt structure and corporate performance in emerging markets. *Research in International Business and Finance*, *38*, 299-311.
(Citado 1 vez na página 21.)

Delli Gatti, D., Di Guilmi, C., Gaffeo, E., & Gallegati, M. (2004, Dec). Bankruptcy as an exit mechanism for systems with a variable number of components. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *344*(1-2), 8-13.
(Citado 1 vez na página 7.)

Delli Gatti, D., Gallegati, M., Greenwald, B., Russo, A., & Stiglitz, J. E. (2010, Sep). The financial accelerator in an evolving credit network. *Journal of Economic Dynamics and Control*, *34*(9), 1627-1650.
(Citado 7 vezes nas páginas 1, 6, 7, 8, 9, 10, e 12.)

Delli Gatti, D., Gallegati, M., Greenwald, B. C., Russo, A., & Stiglitz, J. E. (2009, May). Business fluctuations and bankruptcy avalanches in an evolving network economy. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, *4*(2), 195-212.
(Citado 2 vezes nas páginas 7 e 9.)

Ellen, S. t., & Zwinkels, R. C. (2010, Nov). Oil price dynamics: A behavioral finance approach with heterogeneous agents. *Energy Economics*, *32*(6), 1427-1434.
(Citado 1 vez na página 6.)

Feldman, T. (2010, Aug). Portfolio manager behavior and global financial crises. *Journal of Economic Behavior & Organization*, *75*(2), 192-202.
(Citado 2 vezes nas páginas 6 e 7.)

Gaffeo, E., Gallegati, M., & Palestrini, A. (2003, Jun). On the size distribution of firms: additional evidence from the G7 countries. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *324*(1-2), 117-123.

(Citado 1 vez na página 7.)

Gatti, D. D., Di Guilmi, C., Gallegati, M., & Giulioni, G. (2007, Jul). Financial fragility, industrial dynamics, ans business fluctuations in an agent based-based model. *Macroeconomic Dynamics*, *11*(S1), 62-79.
(Citado 2 vezes nas páginas 5 e 8.)

Gatti, D. D., Guilmi, C. D., Gaffeo, E., Giulioni, G., Gallegati, M., & Palestrini, A. (2005, Apr). A new approach to business fluctuations: heterogeneous interacting agents, scaling laws and financial fragility. *Journal of Economic Behavior & Organization*, *56*(4), 489-512.
(Citado 2 vezes nas páginas 8 e 9.)

Greenwald, B., Stiglitz, J. E., & Weiss, A. (1984). Informational Imperfections in the Capital Market and Macroeconomic Fluctuations. *The American Economic Review*, *74*(2), 194-199.
(Citado 1 vez na página 11.)

Greenwald, B. C., & Stiglitz, J. E. (1993). Financial Market Imperfections and Business Cycles. *The Quarterly Journal of Economics*, *108*(1), 77-114.
(Citado 5 vezes nas páginas 1, 8, 13, 14, e 27.)

Grilli, R., Tedeschi, G., & Gallegati, M. (2014a, Mar). Markets connectivity and financial contagion. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, *10*(2), 287-304.
(Citado 8 vezes nas páginas 2, 12, 13, 14, 15, 17, 20, e 27.)

Grilli, R., Tedeschi, G., & Gallegati, M. (2014b, Nov). Bank interlinkages and macroeconomic stability. *International Review of Economics & Finance*, *34*, 72-88.
(Citado 2 vezes nas páginas 1 e 12.)

Helbing, D. (2012). Agent-Based Modeling. *Social Self-Organization*, 25-70.
(Citado 1 vez na página 1.)

Hubbard, R. G., Kuttner, K., & Palia, D. (2002, Oct). Are There Bank Effects in Borrowers' Costs of Funds? Evidence from a Matched Sample of Borrowers and Banks. *The Journal of Business*, *75*(4), 559-581.
(Citado 1 vez na página 9.)

Iori, G., Jafarey, S., & Padilla, F. G. (2006, Dec). Systemic risk on the interbank market. *Journal of Economic Behavior & Organization*, *61*(4), 525-542.
(Citado 1 vez na página 20.)

Ivashina, V., & Scharfstein, D. (2010, Sep). Bank lending during the financial crisis of 2008. *Journal of Financial Economics*, *97*(3), 319-338.
(Citado 1 vez na página 11.)

Kalemli-Ozcan, S., Sorensen, B., & Yesiltas, S. (2012, Nov). Leverage across firms, banks, and countries. *Journal of International Economics*, *88*(2), 284-298.
(Citado 3 vezes nas páginas 2, 11, e 18.)

Kirman, A. (2010, Nov). The Economic Crisis is a Crisis for Economic Theory. *CESifo Economic Studies*, *56*(4), 498-535.
(Citado 1 vez na página 27.)

Krause, A., & Giansante, S. (2012, Aug). Interbank lending and the spread of bank failures: A network model of systemic risk. *Journal of Economic Behavior & Organization*, *83*(3), 583-608.
(Citado 1 vez na página 20.)

Kuzubas, T. U., Saltoglu, B., & Sever, C. (2016, Nov). Systemic risk and heterogeneous leverage in banking networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *462*, 358-375.
(Citado 1 vez na página 19.)

Ladley, D. (2013, Jul). Contagion and risk-sharing on the inter-bank market. *Journal of Economic Dynamics and Control*, *37*(7), 1384-1400.
(Citado 2 vezes nas páginas 20 e 28.)

Lengnick, M., Krug, S., & Wohltmann, H.-W. (2013). Money Creation and Financial Instability: An Agent-Based Credit Network Approach. *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, *7*(32), 1-44.
(Citado 2 vezes nas páginas 20 e 28.)

Martinez-Jaramillo, S., Perez, O. P., Embriz, F. A., & Dey, F. L. G. (2010, Nov). Systemic risk, financial contagion and financial fragility. *Journal of Economic Dynamics and Control*, *34*(11), 2358-2374.
(Citado 1 vez na página 24.)

Messori, M. (2014, Mar). A Schumpeterian analysis of the credit market. *Structural Change and Economic Dynamics*, *28*, 43-59.
(Citado 1 vez na página 2.)

Palmer, R., Brian Arthur, W., Holland, J. H., LeBaron, B., & Tayler, P. (1994, Aug). Artificial economic life: a simple model of a stockmarket. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, *75*(1-3), 264-274.
(Citado 1 vez na página 6.)

Raberto, M., Teglio, A., & Cincotti, S. (2012). Debt Deleveraging and Business Cycles. An Agent-Based Perspective. *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, *6*(27), 1-49.
(Citado 1 vez na página 23.)

Ramadan, Z. S. (2012, Oct). Does Leverage Always Mean Risk? Evidence from ASE. *International Journal of Economics and Finance*, *4*(12).
(Citado 4 vezes nas páginas 2, 18, 20, e 28.)

Riccetti, L., Russo, A., & Gallegati, M. (2013, Aug). Leveraged network-based financial accelerator. *Journal of Economic Dynamics and Control*, *37*(8), 1626-1640.
(Citado 3 vezes nas páginas 9, 10, e 21.)

Riccetti, L., Russo, A., & Gallegati, M. (2015, Jan). Financialisation and crisis in an agent based macroeconomic model. *Economic Modelling*.
(Citado 1 vez na página 11.)

Russo, A., Riccetti, L., & Gallegati, M. (2015, Jun). Increasing inequality, consumer credit

and financial fragility in an agent based macroeconomic model. *Journal of Evolutionary Economics*.
(Citado 1 vez na página 11.)

Souza, S. R., Tabak, B. M., Silva, T. C., & Guerra, S. M. (2015, Aug). Insolvency and contagion in the Brazilian interbank market. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *431*, 140-151.
(Citado 1 vez na página 2.)

Tedeschi, G., Mazloumian, A., Gallegati, M., & Helbing, D. (2012, Dec). Bankruptcy Cascades in Interbank Markets. *PLoS ONE*, *7*(12), 1-10.
(Citado 4 vezes nas páginas 5, 12, 19, e 20.)

Temizsoy, A., Iori, G., & Montes-Rojas, G. (2015, Oct). The role of bank relationships in the interbank market. *Journal of Economic Dynamics and Control*, *59*, 118-141.
(Citado 2 vezes nas páginas 1 e 2.)

Xiong, X., Guo, C., Zhang, W., & Zhang, Y.-j. (2009, Dec). Loan Rate Pricing of SME Financing based on Agent-based Computational Finance Approach. *Systems Engineering - Theory & Practice*, *29*(12), 9-14.
(Citado 4 vezes nas páginas 6, 7, 11, e 12.)

Apêndice A

Programação do modelo em Python

```
from __future__ import division
import numpy as np

# Set parameters.
phi = 0.1
A = 65
L = 35
tau = 4
theta = 0.05
c = 1
lambd = 0.08
alpha = 0.1
chi = 0.8
psi = 0.1
n_firms = 100
n_banks = 50
prob_firm_bank = 0.1
prob_bank_bank = 0.2
epochs = 10 # Number of times to run a full simulation.
timesteps = 100 # Timesteps per simulation.
interest_rate_control = 1

class CentralBank(object):

 def __init__(self):
  self.profits = 0

cb = CentralBank()

class Firm(object):
 #
```

```
 def __init__(self):

  # Compute firms' variables.
  self.k = A + L
  self.net_worth = A
  self.production = phi * self.k
  self.loan_demand = None
  self.leverage = L/A
  self.profits = 0
  self.existing_debt = None
  self.last_interest_rate = np.random.rand() * (L/A)**theta
  self.optimal_k = None
  self.loans = [Loan(L, self.last_interest_rate, self, cb, 0)]

class Bank(object):

 def __init__(self):

  # Compute banks' variables.
  self.net_worth = (L * n_firms * alpha)/n_banks
  self.credit_supply = self.net_worth/alpha
  self.loan_demand = None
  self.leverage = 0
  self.profits = 0
  self.existing_debt = 0
  self.last_interest_rate = np.random.rand()*0.2*(L/self.net_worth)**0.05
  self.loans = []

class Loan(object):

 def __init__(self, amount, interest_rate, borrower, lender, t):

  # Store stuff.
  self.amount_left = amount
  self.interest_rate = interest_rate
  self.borrower = borrower
  self.lender = lender
  self.t = 0
  self.payments_amount = amount * ((1 + interest_rate)**tau /
   np.sum([(1 + interest_rate)**i for i in range(tau)]))

 def update(self):
  self.t += 1
```

```
  self.amount_left *= (1 + self.interest_rate)

 def pay(self):
  if self.t > 0:
   self.amount_left -= self.payments_amount
   self.borrower.profits -= self.payments_amount
   self.lender.profits += self.payments_amount

 def list_remove(item_to_remove, list):
  list_ = []
  for item in list:
   if item != item_to_remove:
    list_.append(item)
  return list_

class Market(object):

 def __init__(self):
  #Attribute values to each agent in the simulation,
  #using the Classes Firm and Bank
  self.t = 0 # Time counter.
  self.firms = [Firm() for i in range(n_firms)]
  self.banks = [Bank() for i in range(n_banks)]

 # Variables we want to analyze later.
 self.stuff = {'avg_firms_leverage': 0,
  'avg_banks_leverage': 0,
  'bankrupt_firms_counter': 0,
  'bankrupt_banks_counter': 0,
  'avg_firms_profits': 0,
  'avg_banks_profits': 0,
  'avg_firms_net_worth': 0,
  'avg_banks_net_worth': 0,
  }

 def step(self):
  #Defining the function to initialize the market

  # Increase time counter.
  self.t += 1

  # Update all loans.
  for agent in self.firms + self.banks:
```

```
 for loan in agent.loans:
  loan.update()

# Restore credit supply for each bank,
# as it's the beginning of a new period.
for bank in self.banks:
 bank.credit_supply = bank.net_worth/alpha

# Select firm.
for firm in self.firms:

 # Compute firm's existing debt.
 firm.existing_debt = 0
 for loan in firm.loans:
  firm.existing_debt += loan.amount_left

 # Compute firm's leverage.
 firm.leverage = firm.existing_debt/firm.net_worth

 # Select the banks linked to the firm.
 banks_linked = []
 for bank in self.banks:
  if np.random.binomial(1, prob_firm_bank):
   banks_linked.append(bank)

 # Further select banks
 # based on risk aversion coefficient to the firm.
 banks_available = []
 for bank in banks_linked:
  risk_aversion_coef = 1 - chi * (firm.existing_debt/
   (bank.credit_supply + 1e-3))**psi
  if np.random.rand() < risk_aversion_coef:
   banks_available.append(bank)

 # Find best interest rate the banks offer to the firm,
 # if there's any bank available.
 best_interest_rate, lender_bank = None, None
 if banks_available:
  if firm.leverage > 0:
   interest_rates = \
    [np.random.rand() * interest_rate_control *
     (firm.leverage)**theta for bank in banks_available]
  else:
```

```
  interest_rates = \
   [np.random.randn() * 1e-4 +
    firm.last_interest_rate for bank in banks_available]
 best_interest_rate, lender_bank = \
  (np.min(interest_rates),
  banks_available[np.argmin(interest_rates)])

# Compute firm's optimal k.
firm.optimal_k = (1 + c * phi * firm.net_worth) / (2 * c)
if best_interest_rate:
 firm.optimal_k /= lambd * best_interest_rate +
  (1 - lambd) * firm.leverage
else:
 firm.optimal_k /= lambd * firm.last_interest_rate +
  (1 - lambd) * firm.leverage

# Compute firm's loan demand.
firm.loan_demand = max(firm.optimal_k - firm.net_worth, 0)

# Check for loan demand and perform loans stuff.
if firm.loan_demand > 0 and lender_bank:

 # Check if the lender bank has enough credit supply.
 lender_bank_has_enough = True
 if lender_bank.credit_supply < firm.loan_demand:
  lender_bank_has_enough = False

 # If it has, continue with the loan.
 success = True
 loan = Loan(firm.loan_demand, best_interest_rate, firm,
                         lender_bank, 0)
 if not lender_bank_has_enough:
  success = self.find_loan_for_bank(lender_bank,
   firm.loan_demand - lender_bank.credit_supply,
   list_remove(lender_bank, self.banks))
 if success:
  firm.loans.append(loan)
      lender_bank.credit_supply -= firm.loan_demand
      firm.last_interest_rate = best_interest_rate

# Update firm's k (capital).
firm.k = firm.net_worth
for loan in firm.loans:
```

```
    if loan.t == 0:
     firm.k += loan.amount_left

  # Update firm's production.
  firm.production = phi * firm.k

  # Update firm's profits.  Not considering loans right now.
  firm.profits = (np.random.randn() * 0.033 + 1) * firm.production

# Update banks' profits. Not considering loans right now.
for bank in self.banks:
  bank.profits = 0

# Update firms/banks profits/net worth based on loans.
for agent in self.firms + self.banks:

  for loan in agent.loans:
    loan.pay()
    if loan.t >= tau:
     agent.loans.remove(loan)

  # Update net worth.
  agent.net_worth += agent.profits

# Remove bankrupt agents.
alive_firms = []
for firm in self.firms:
  if firm.net_worth > 0:
    alive_firms.append(firm)
num_dead_firms = len(self.firms) - len(alive_firms)
self.stuff['bankrupt_firms_counter'] += num_dead_firms
self.firms = alive_firms
for i in range(num_dead_firms): self.firms.append(Firm())
alive_banks = []
for bank in self.banks:
  if bank.net_worth > 0:
    alive_banks.append(bank)
num_dead_banks = len(self.banks) - len(alive_banks)
self.stuff['bankrupt_banks_counter'] += num_dead_banks
self.banks = alive_banks
for i in range(num_dead_banks): self.banks.append(Bank())

# Update variables that we want to analyze.
```

```
 self.stuff['avg_firms_leverage'] += \
  np.mean([firm.leverage for firm in self.firms])/timesteps
 self.stuff['avg_banks_leverage'] += \
  np.mean([bank.leverage for bank in self.banks])/timesteps
 self.stuff['avg_firms_profits'] += \
  np.mean([firm.profits for firm in self.firms])/timesteps
 self.stuff['avg_banks_profits'] += \
  np.mean([bank.profits for bank in self.banks])/timesteps
 self.stuff['avg_firms_net_worth'] += \
  np.mean([firm.net_worth for firm in self.firms])/timesteps
 self.stuff['avg_banks_net_worth'] += \
  np.mean([bank.net_worth for bank in self.banks])/timesteps

def find_loan_for_bank(self, borrower_bank, amount, banks):
 if not banks:
  return False

 # Compute borrower bank's existing debt.
 borrower_bank.existing_debt = 0
 for loan in borrower_bank.loans:
  borrower_bank.existing_debt += loan.amount_left

 # Compute borrower bank's leverage.
 borrower_bank.leverage = \
  borrower_bank.existing_debt/borrower_bank.net_worth

 # Select the banks linked to the borrower bank.
 banks_linked = []
 for bank in banks:
  if np.random.binomial(1, prob_bank_bank):
   banks_linked.append(bank)

 # Further select banks based on
 # risk aversion coefficient to the borrower bank.
 banks_available = []
 for bank in banks_linked:
  risk_aversion_coef = 1 - chi*(borrower_bank.existing_debt/
   (bank.credit_supply+ 1e-3))**psi
  if np.random.rand() < risk_aversion_coef:
   #Select banks based on their size
    if bank.net_worth > borrower_bank.net_worth:
     banks_available.append(bank)
```

```
  # Find best interest rate the banks offer to the borrower bank,
  # if there's any bank available.
  best_interest_rate, lender_bank = None, None
  if banks_available:
   if borrower_bank.leverage > 0:
    interest_rates = \
     [np.random.rand() * interest_rate_control *
     (borrower_bank.leverage)**theta for bank in banks_available]
   else:
    interest_rates = \
     [np.random.randn() * 1e-4 +
     borrower_bank.last_interest_rate for bank in banks_available]
   best_interest_rate, lender_bank = \
    (np.min(interest_rates), banks_available[np.argmin(interest_rates)])

  # Check if the lender bank has enough credit supply.
  if lender_bank:

   # If it has, continue with the loan.
   success = True
   loan = Loan(amount, best_interest_rate, borrower_bank, lender_bank, 0)
   if amount - lender_bank.credit_supply > 0:
    success = self.find_loan_for_bank(lender_bank,
     amount - lender_bank.credit_supply,
     list_remove(lender_bank, banks))
   if success:
    borrower_bank.loans.append(loan)
    borrower_bank.credit_supply += amount
    lender_bank.credit_supply -= amount
    borrower_bank.last_interest_rate = best_interest_rate
    return True
   else:
    return False
  else:
   return False

def main():
 #Defining the function to run the simulation

 stuff = {'avg_firms_leverage': [],
  'avg_banks_leverage': [],
  'bankrupt_firms_counter': [],
  'bankrupt_banks_counter': [],
```

```
    'avg_firms_profits': [],
    'avg_banks_profits': [],
    'avg_firms_net_worth': [],
    'avg_banks_net_worth': [],
    }

  for i in range(epochs):

    # Initialize market.
    market = Market()

    # Run simulation.
    for t in range(timesteps):
      market.step()

    # Save stuff.
    stuff['avg_firms_leverage'].append(
      market.stuff['avg_firms_leverage'])
    stuff['avg_banks_leverage'].append(
      market.stuff['avg_banks_leverage'])
    stuff['avg_firms_profits'].append(
      market.stuff['avg_firms_profits'])
    stuff['avg_banks_profits'].append(
      market.stuff['avg_banks_profits'])
    stuff['avg_firms_net_worth'].append(
      market.stuff['avg_firms_net_worth'])
    stuff['avg_banks_net_worth'].append(
      market.stuff['avg_banks_net_worth'])
    stuff['avg_firms_net_worth'].append(
      market.stuff['avg_firms_net_worth'])
    stuff['bankrupt_firms_counter'].append(
      market.stuff['bankrupt_firms_counter'])
    stuff['bankrupt_banks_counter'].append(
      market.stuff['bankrupt_banks_counter'])

  # Print stuff.
  for key, val in sorted(stuff.iteritems()):
    print(key + ': ' + format(np.mean(val)) + " +- " + format(np.std(val)))

if __name__ == "__main__":
  main()
```