



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

IGOR FARIA DE ARAUJO

**BANCOS HETEROGÊNEOS E O ACELERADOR FINANCEIRO - UM
MODELO AB-SFC**

Rio de Janeiro, RJ

2024

Igor Faria de Araujo

**BANCOS HETEROGÊNEOS E O ACELERADOR FINANCEIRO - UM
MODELO AB-SFC**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGE) do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências Econômicas.

Orientador: Ítalo Pedrosa Gomes Martins

Rio de Janeiro, RJ

2024

Igor Faria de Araujo

BANCOS HETEROGÊNEOS E O ACELERADOR FINANCEIRO - UM MODELO AB-SFC

Banca Examinadora:

Ítalo Pedrosa Gomes Martins
Orientador (UFRJ)

Luiz Fernando Rodrigues de Paula
(UFRJ)

Matheus Trotta Vianna
(University of Manchester)

FICHA CATALOGRÁFICA

A663b Araujo, Igor Faria de.
Bancos heterogêneos e o acelerador financeiro - um modelo AB-SFC / Igor Faria de Araujo. – 2024.
99 f.

Orientador: Ítalo Pedrosa Gomes Martins.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia da Indústria e da Tecnologia, 2024.
Bibliografia: f. 96-99.

1. Acelerador financeiro. 2. Modelos baseados em agentes. 3. Ciclos econômicos.
I. Martins, Ítalo Pedrosa Gomes, orient. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Economia. III. Título.

CDD 332

Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, cuja graça e misericórdia me sustentaram ao longo desta jornada. À minha família, que sempre me proporcionou suporte e cuidado em todos os momentos que precisei. Em especial, agradeço à minha mãe, Maria Lucia, pelo amor e apoio incondicionais, e ao meu pai, Gilmar Luiz, pelo exemplo e incentivo sempre presentes. Agradeço também à minha companheira, Rachel Chagas, por estar ao meu lado e por me proporcionar inúmeros momentos de alegria.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos os meus amigos com quem compartilhei inúmeras experiências felizes. Cada momento compartilhado foi uma oportunidade valiosa para trocar conhecimentos e aprender lições preciosas que contribuíram significativamente para meu desenvolvimento pessoal.

Agradeço a todo o corpo docente do PPGE/IE por me proporcionar um rico conhecimento dentro e fora da sala de aula. Em especial, expresso minha gratidão ao meu orientador, Ítalo Pedrosa, por sua profunda ajuda nesta dissertação, sua constante disponibilidade e sua incrível paciência ao lidar com meus erros durante a realização deste trabalho. Também gostaria de estender esses agradecimentos aos outros membros da banca examinadora, os professores Matheus Vianna e Luiz Fernando, por aceitarem participar deste momento importante da minha jornada, apesar das dificuldades impostas pelo prazo apertado.

Naturalmente, agradeço também à CAPES e ao CNPq pela provisão do financiamento à pesquisa no país, por meio do qual pude ser beneficiado e receber a bolsa de auxílio. Sem este suporte, não teria conseguido cursar o mestrado, muito menos terminá-lo.

Por fim, agradeço a todos que passaram pela minha vida e, de alguma maneira, contribuíram para o meu crescimento intelectual e pessoal.

Resumo

Bernanke e Gertler (1989, 1990) apresentaram um mecanismo pelo qual fatores financeiros podem afetar os ciclos econômicos. Segundo os autores, existe uma relação negativa entre o fluxo de caixa da firma e seu respectivo prêmio de risco. Devido a essa relação, em momentos de recessão econômica, o fluxo de caixa das empresas se reduz, levando-as a serem racionadas por crédito no exato momento em que mais precisam de financiamento. Esse movimento força as firmas a reduzirem seus gastos com investimento, o que, por sua vez, implica em uma nova redução do produto, reiniciando o ciclo. Dessa forma, os fatores financeiros podem amplificar os ciclos econômicos. Esse mecanismo ficou conhecido na literatura como acelerador financeiro. Dada a relevância desse mecanismo para a estabilidade macroeconômica, o presente trabalho busca estender o modelo proposto por Pedrosa e Lang (2021) para que seja capaz de representar o acelerador financeiro de uma forma mais próxima do mundo real, por meio da geração de uma complexa rede de crédito entre firmas e bancos heterogêneos. O objetivo é que a estrutura de dívida das empresas seja composta por empréstimos com taxas de juros diferentes, maturidades distintas e fornecidos por credores variados. Para isso, este trabalho apresenta a concepção teórica que fundamenta o modelo e suas principais hipóteses e equações comportamentais. Em seguida, demonstra-se o processo de inicialização e calibragem do modelo, o qual torna possível realizar as simulações numéricas do mesmo. Por fim, apresenta-se a implementação do código computacional, visando demonstrar os avanços que já foram realizados para, futuramente, simular o modelo numericamente. Além disso, este trabalho procurou ser o mais didático possível na apresentação do código computacional do modelo, visando contribuir para a difusão do ferramental dos modelos *agent-based*.

Palavras-Chave: Acelerador Financeiro; Modelos Baseados em Agentes; Ciclos Econômicos

Abstract

Bernanke and Gertler (1989, 1990) presented a mechanism through which financial factors can affect economic cycles. According to the authors, there is a negative relationship between a firm's cash flow and its respective risk premium. Due to this relationship, during economic downturns, companies' cash flow decreases, leading them to be credit constrained at the exact moment they need financing the most. This movement forces firms to reduce their investment spending, which, in turn, implies a further reduction in output, restarting the cycle. Thus, financial factors can amplify economic cycles. This mechanism became known in the literature as the financial accelerator. Given the relevance of this mechanism for macroeconomic stability, the present study seeks to extend the model proposed by Pedrosa and Lang (2021) to be able to represent the financial accelerator in a way closer to the real world, through the generation of a complex credit network between heterogeneous firms and banks. The objective is for the debt structure of companies to consist of loans with different interest rates, maturities, and provided by various lenders. To achieve this, this paper presents the theoretical framework underlying the model and its main hypotheses and behavioral equations. Next, the initialization and calibration process of the model is demonstrated, which enables numerical simulations of it. Finally, the implementation of the computational code is presented, aiming to demonstrate the progress that has already been made in order to simulate the model numerically in the future. Additionally, this study aimed to be as didactic as possible in presenting the computational code of the model, aiming to contribute to the dissemination of agent-based modeling tools.

Keywords: Financial Accelerator; Agent-Based Models; Economic Cycles;

Lista de Figuras

1	Estrutura do Modelo	67
---	-------------------------------	----

Lista de Tabelas

1	Tabela Resumo das Regularidades Estatísticas	38
2	Matriz de Fluxo e Fundos	41
3	Tabela de Parâmetros	66

Sumário

Introdução	11
1 Política Monetária, Macropprudencial e o Acelerador Financeiro	14
1.1 O Acelerador Financeiro	14
1.2 Literatura Teórica <i>Agent-Based</i>	17
1.2.1 Delli Gatti, Gallegati, Greenwald, Russo e Stiglitz (Delli Gatti et al., 2010)	17
1.2.2 Riccetti, Russo e Gallegati (Riccetti et al., 2013)	19
1.2.3 Riccetti, Russo e Gallegati (Riccetti et al., 2018)	20
1.2.4 Riccetti, Russo e Gallegati (Riccetti et al., 2021)	22
1.2.5 Alexandre, Lima, Riccetti e Russo (Alexandre et al., 2023)	24
1.2.6 Giri, Riccetti, Russo e Gallegati (Giri et al. 2019)	25
1.2.7 Popoyan, Napoletano e Roventini (Popoyan et al., 2017)	27
1.3 Literatura Empírica	28
1.3.1 Taxa de Alavancagem e Estrutura de Capital	28
1.3.2 Concentração e Estabilidade	33
1.3.3 Regularidades Empíricas sobre Crédito	33
1.3.4 Estrutura do Setor Bancário	36
1.4 Considerações Finais	38
2 O Modelo	39
2.1 Estrutura	39
2.2 Sequência de Eventos	42
2.3 O Comportamento dos Agentes	43
2.3.1 Comportamento das Firms	44
2.3.2 Comportamento dos Bancos	52
2.3.3 Comportamento das Famílias	56
2.3.4 Comportamento do Governo	57
2.3.5 Comportamento do Banco Central	58
2.3.6 Processo de Entrada e Saída	58
2.4 Considerações Finais	59
3 Inicialização, Calibragem e Código Computacional	61
3.1 Linguagem	61
3.2 Inicialização e Calibragem	63
3.3 Implementação do Código	68
3.3.1 Decisões de Produção	68
3.3.2 Mercado de Bens	73
3.3.3 Mercado de Trabalho	80

3.3.4	Mercado de Crédito	83
3.3.5	Mercado de Depósitos	90
3.4	Considerações Finais	93
	Conclusão	94
	Referências	96

Introdução

Bernanke e Gertler (1989, 1990) apresentaram um mecanismo através do qual fatores financeiros seriam capazes de afetar os ciclos econômicos. O próprio movimento do ritmo de atividade, por meio dos seus efeitos sobre as condições financeiras dos agentes, gera forças que se retroalimentam e amplificam choques reais. Os autores demonstraram a presença de uma relação negativa entre o fluxo de caixa das empresas e o seu respectivo prêmio de risco, com impactos subsequentes sobre a atividade econômica. Dessa forma, em fases recessivas, o fluxo de caixa das empresas se reduz, levando a um aumento da alavancagem das mesmas. Esse movimento causa uma elevação do risco que, por sua vez, implica em uma contração do crédito e uma subsequente queda no investimento. Finalmente, a queda nos gastos de investimento leva a uma nova contração do produto, reiniciando o ciclo. Esse mecanismo de amplificação dos ciclos econômicos ficou conhecido na literatura como acelerador financeiro.

Delli Gatti et al. (2010) apontam que o mecanismo descrito acima pode ser ainda mais enriquecido caso se leve em consideração a interação entre agentes heterogêneos. Afinal, em uma economia moderna, nenhum agente econômico é uma ilha isolada. Logo, existe uma interdependência entre os balanços patrimoniais. Tal fato implica que a falência de uma determinada firma causa impactos sobre as condições financeiras de todos os parceiros comerciais da mesma. Dessa maneira, em uma rede de crédito complexa, um choque idiossincrático pode levar a uma onda de falências.

Dada a importância do acelerador financeiro para a estabilidade macroeconômica, este trabalho almeja apresentar um modelo que seja capaz de representar o mecanismo presente na economia real de forma a simular os seus principais efeitos. Parte-se de uma visão da economia como um sistema complexo adaptativo (Kirman, 1992 e Colander, 2008), onde os resultados macroeconômicos não coincidem com o comportamento dos indivíduos, mas sim emergem das interações entre agentes heterogêneos. Essa abordagem é útil para avaliar não só como economias de mercado complexas coordenam suas atividades em tempos de normalidade (Howitt, 2011), mas também para analisar como grandes crises surgem, algo essencial quando se trata de refletir sobre os efeitos dos fatores financeiros no desempenho macroeconômico.

Isso posto, acredita-se que é mais adequado utilizar o ferramental dos modelos da família *agent-based stock-flow consistent* (AB-SFC), em vez dos modelos de equilíbrio geral dinâmico e estocástico (DSGE). A primeira classe de modelos possui a vantagem de representar sistemas complexos adaptativos, permitindo tratar de forma natural a heterogeneidade de agentes e suas consequentes interações. Além desta qualidade, os modelos AB-SFC realizam uma contabilidade criteriosa sobre os balanços patrimoniais, através de matrizes de contabilidade social, garantindo a ausência de fluxos monetários advindos do “nada”. Essas duas características tornam a abordagem AB-SFC própria para lidar com fatores financeiros onde tanto a consistência entre as variáveis de fluxo e estoque quanto a heterogeneidade e a interação entre os agentes são

relevantes (Fagiolo e Roventini, 2017).

Nesse sentido, este trabalho procura estender o modelo AB-SFC apresentado em Pedrosa e Lang (2021), introduzindo heterogeneidade no setor bancário. O objetivo é permitir que o modelo seja capaz de gerar uma rede de crédito complexa entre firmas e bancos heterogêneos, onde a estrutura de dívida das primeiras é composta por empréstimos com taxas de juros diferentes, maturidades distintas e fornecedores variados.

O modelo citado é considerado um ponto de partida benéfico, pois ele possui inspiração evolucionária, keynesiana, kaleckiana e minskyana. Devido ao seu núcleo keynesiano/kaleckiano, o modelo permite que a demanda possua um papel relevante na determinação do produto. O braço evolucionário, de inspiração schumpeteriana, possibilita implementar o progresso tecnológico e um processo de concorrência liderado por atividades de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Finalmente, a influência minskyana permite dar destaque para os fatores financeiros e suas implicações para os ciclos econômicos.

Para realizar esse objetivo, a presente dissertação está organizada da seguinte maneira. O primeiro capítulo se inicia pela apresentação do mecanismo do acelerador financeiro na forma como o *mainstream* da literatura econômica o trata. Em seguida, são realizadas algumas críticas à versão ortodoxa do mecanismo, as quais fundamentam a representação do mesmo por meio de uma abordagem alternativa, os modelos *agent-based*. Esta permite que bancos e firmas heterogêneos interajam entre si, criando uma complexa rede de crédito que enriquece o mecanismo. Na subseção seguinte, o capítulo realiza uma revisão da literatura sobre modelos *agent-based*, buscando demonstrar como estes representam o mecanismo e tecer críticas às quais justificam a construção de um modelo mais completo. Por fim, o capítulo se encerra realizando uma revisão da literatura empírica sobre o setor bancário, com o objetivo de levantar regularidades estatísticas que serão utilizadas posteriormente para realizar a avaliação empírica do modelo e, assim, verificar se os resultados gerados pelo mesmo serão significativos para analisar a economia real.

O segundo capítulo demonstra a concepção teórica do modelo. Na primeira seção, são apresentadas as principais hipóteses do mesmo, quais agentes povoam a economia artificial e as suas principais atividades. Em seguida, demonstra-se a sequência em que o código computacional do modelo executa os acontecimentos da economia artificial. Essa parte é importante, pois um ordenamento equivocado pode prejudicar os resultados do modelo ou até mesmo fazer com que não seja possível simulá-lo. Por fim, a última seção apresenta de forma mais detalhada o comportamento dos agentes presentes no modelo, buscando destacar os avanços feitos frente à versão anterior (Pedrosa e Lang, 2021).

O terceiro e último capítulo demonstra o lado computacional do modelo, com o objetivo de apresentar a implementação do código que permitirá a simulação numérica. A primeira seção deste capítulo apresenta brevemente a linguagem computacional na qual o código do modelo foi escrito, suas vantagens e características. A segunda seção detalha o processo de inicialização do modelo, como os valores iniciais das variáveis e dos parâmetros são definidos, e como o

modelo está hierarquicamente estruturado dentro do programa. A última seção demonstra os algoritmos de partes selecionadas do código, destacando os avanços em relação à versão anterior (Pedrosa e Lang, 2021). Visa-se ser o mais didático possível nesta parte final, com o intuito de facilitar o entendimento, visto que códigos computacionais de modelos *agent-based* costumam ser razoavelmente complexos. Por fim, um capítulo contendo as considerações finais encerra o trabalho.

1 Política Monetária, Macroprudencial e o Acelerador Financeiro

O presente capítulo irá apresentar o mecanismo do acelerador financeiro em sua versão mais ortodoxa e criticá-la, para justificar o tratamento do mesmo em uma abordagem alternativa. Na sequência, é feita uma revisão da literatura sobre os modelos *agent-based*, buscando justificar a extensão do modelo exposto em Pedrosa e Lang (2021) frente a mesma.

Existem modelos que implementam instrumentos semelhantes ao acelerador financeiro e/ou modelam redes de crédito (Caiani et al., 2016, Caiani et al., 2019, Dosi et al., 2013, Dosi et al., 2018 e Botta et al., 2021). No entanto, estes não focam no mecanismo e nem em questões ligadas aos fatores financeiros. Dessa forma, os modelos que serão apresentados foram selecionados porque focam no mecanismo em si e como este amplifica os ciclos econômicos (Delli Gatti et al., 2010 e Riccetti et al., 2013), ou porque tratam de questões relacionadas a fatores financeiros, como as políticas macroprudencial (Riccetti et al., 2018 e Riccetti et al., 2021) e monetária (Giri et al., 2019 e Popoyan et al., 2017).

Os modelos escolhidos serão apresentados dando ênfase no mercado de crédito e na forma como estes implementam o acelerador financeiro. Após a exposição, são feitas algumas críticas à maneira como o mecanismo foi representado, as quais justificam a construção de um modelo mais completo que seja capaz de reproduzir o acelerador financeiro de forma mais enriquecida.

Na seção empírica são apresentadas oito regularidades estatísticas sobre o setor bancário. Estas discorrem sobre: a taxa de alavancagem dos bancos e sua estrutura de capital; o comportamento do crédito bancário ao longo do ciclo econômico; o efeito de choques no capital dos bancos sobre o volume de crédito; o impacto na estrutura de capital das firmas de choques no crédito bancário; e, sobre a estrutura do setor. No futuro, essas evidências serão utilizadas para realizar a validação empírica do modelo. Por fim, segue uma seção conclusiva que recapitula os argumentos e apresenta uma tabela resumo com todas as regularidades estatísticas.

1.1 O Acelerador Financeiro

Na literatura *mainstream* mais contemporânea (Bernanke e Gertler, 1989 e 1990), a explicação de como os fatores financeiros afetam os ciclos econômicos se dá através de um mecanismo chamado acelerador financeiro. Os modelos que o utilizam tipicamente assumem que as firmas se financiam de duas formas: internamente, com lucros retidos ou aportes de capital dos acionistas; e externamente, com empréstimos ou emissões de ações. Pressupõe-se também que a quantidade de financiamento interno da firma é uma função do seu fluxo de caixa.

Diante de uma recessão econômica, o fluxo de caixa das firmas tende a se reduzir devido à

queda generalizada das vendas, diminuindo a quantidade de financiamento interno disponível. Essa queda aumenta a dependência da firma por financiamento externo, no exato momento em que os credores estão menos dispostos a ofertar crédito, devido à própria queda do fluxo de caixa e do valor dos colaterais. Esse racionamento de crédito pode forçar as firmas a reduzirem seus gastos em investimento, o que leva a uma nova queda do produto, implicando em uma nova redução do fluxo de caixa e do valor dos colaterais, repetindo o ciclo novamente. Esta seria uma possível explicação de como os fatores financeiros possuem a capacidade de amplificar os choques reais e aumentar a amplitude dos ciclos econômicos.

No centro deste mecanismo está a informação, não somente sobre as condições financeiras das partes envolvidas, mas também sobre os seus incentivos. O credor deve avaliar os riscos atrelados à concessão de crédito para um determinado agente econômico. Essa avaliação não se limita apenas à capacidade do tomador de pagar o empréstimo, mas também a sua intenção de cumprir com essa obrigação. No entanto, o credor não possui todas as informações disponíveis para realizar uma avaliação precisa do seu possível cliente. Dentro deste contexto, o credor procura um sinal simples e disponível da credibilidade do demandante de crédito, como alguma medida da sua saúde financeira. Esta pode ser o patrimônio líquido ou o fluxo de caixa, por exemplo.

Dessa forma, a firma inevitavelmente se defrontará com custos de agência sempre que recorrer ao financiamento externo. Estes seriam inversamente proporcionais à quantidade de financiamento interno da firma, a qual depende do fluxo de caixa. Segundo Bernanke e Gertler (1989), a intuição por trás desse resultado é que quanto maior for a parcela de financiamento interno, maior será a convergência de interesses entre o tomador do empréstimo e o seu credor. Portanto, se o fluxo de caixa da firma estiver demasiadamente reduzido, os custos de agência que esta enfrentará no mercado de crédito podem se tornar excessivamente elevados, implicando em um colapso do investimento da mesma.

A maioria dos modelos baseados no acelerador financeiro presentes na literatura são fundamentados na hipótese de agente representativo, como, por exemplo, Bernanke et al. (1999) e Aoki et al. (2004). Particularmente, em Bernanke et al. (1999), um tomador de empréstimo representativo interage com um credor representativo no mercado de crédito. Dessa forma, uma alteração no patrimônio líquido do primeiro trata-se de uma aproximação para a mudança no patrimônio líquido agregado da economia. Consequentemente, neste tipo de modelo, o acelerador financeiro atua por meio de alterações em uma *proxy* da robustez financeira da economia, como o fluxo de caixa ou o patrimônio líquido agregado.

Por definição, essa visão agregada do acelerador financeiro abstrai da complexa rede de crédito que caracteriza as modernas economias financeiramente sofisticadas. A hipótese de agente representativo possui a vantagem de simplificar bastante a análise, mas ao custo de desvantagens relevantes.¹ Mais especificamente, Delli Gatti et al. (2010) apontam três caracte-

¹ Kirman (1992) também realiza extensas críticas à hipótese de agente representativo. Resumidamente, o autor aponta quatro problemas do seu uso: 1) Não existe justificativa plausível para o pressuposto de que o agregado dos

terísticas fundamentais do mecanismo presente nas economias reais que são ignoradas devido à hipótese de agente representativo.

Em primeiro lugar, nesta visão do mecanismo, o choque que origina a flutuação do produto é agregado, isto é, uniforme entre todos os agentes econômicos. No entanto, choques idiossincráticos no nível da firma são capazes de causar uma epidemia financeira, que pode se traduzir em uma redução do produto real (Gabaix, 2011). Dessa forma, os choques no nível do agente individual, via de regra, não se cancelam no agregado, especialmente se ocorrerem em um ponto chave da rede, como a falência do banco Lehman Brothers na crise financeira de 2008.

Em segundo lugar, a visão *mainstream* do acelerador não capta o fato de que o contágio financeiro pode se espalhar de forma distinta em partes diferentes da economia. Para alguns agentes, a solidez financeira pode ser pró-cíclica, como previsto pela visão tradicional do acelerador financeiro. No entanto, para outros, a fragilidade financeira pode ser pró-cíclica e, portanto, a solidez financeira anticíclica. Por exemplo, segundo a Hipótese de Fragilidade Financeira de Hyman Minsky (1977, 1982), a fragilidade financeira dos tomadores de empréstimo aumenta durante a fase ascendente do ciclo econômico, plantando as sementes para a próxima crise financeira. Quando a economia está crescendo, as firmas ficariam mais dispostas a se alavancar mais e os bancos mais propensos a fornecer crédito por causa das expectativas generalizadas de lucros abundantes. Portanto, a solidez financeira pode ser tanto pró-cíclica quanto anticíclica.

Em terceiro e último lugar, o acelerador financeiro pode levar a uma grande onda de falências em uma rede de crédito. Supondo que uma determinada firma declare falência, os bancos que forneceram crédito a ela terão que arcar com os custos da bancarrota. Os impactos sobre o balanço patrimonial dos bancos parceiros podem ser absorvidos caso o empréstimo seja pequeno e/ou o patrimônio líquido dos mesmos seja suficientemente alto. Caso contrário, o banco também pode ser forçado a declarar falência, gerando novos efeitos sobre as condições financeiras de seus parceiros comerciais. Se o banco sobreviver, este poderá restringir a sua oferta de crédito e elevar a taxa de juros cobrada de todos os seus clientes, buscando recuperar as perdas em seu balanço.

Dessa forma, a falência de um determinado agente é capaz de causar uma avalanche de outras falências. Enquanto a origem mais imediata da quebra de uma firma pode ser o choque positivo na taxa de juros, a razão mais distante é a falência de uma terceira firma que pressionou os bancos a aumentarem as suas taxas de juros. Logo, uma alta taxa de falência é causa e ao

agentes individuais aja como um maximizador, mesmo quando as partes são de fato maximizadoras. Dessa forma, a maximização individual não implica em uma racionalidade coletiva, e nem o caminho inverso é verdadeiro; 2) A reação do agente representativo a alguma mudança nos parâmetros do modelo original pode não coincidir com o comportamento agregado dos indivíduos que representa; 3) Mesmo no caso de que o comportamento do agente representativo seja idêntico ao do agregado dos indivíduos, é possível que existam situações onde o agente representativo prefira X a Y, enquanto cada indivíduo opte por Y em vez de X; 4) Por fim, tentar explicar o comportamento de um coletivo como sendo de um único indivíduo é restritivo. A soma do comportamento dos agentes econômicos pode gerar dinâmicas complexas, onde a construção de um indivíduo que se comporte dessa forma pode implicar que este possua características altamente irrealistas.

mesmo tempo consequência do aumento das taxas de juros incidentes sobre os contratos de empréstimo.

Portanto, uma onda de falências pode ser causada pelo efeito da bancarrota de uma firma no patrimônio líquido dos seus “vizinhos”, ligados a ela por meio de relacionamentos de crédito diretos ou indiretos. Essas avalanches podem ter tamanhos diferentes, dependendo não só da magnitude do choque, mas também da topologia da rede de crédito. Por exemplo, quando o setor produtivo ou o setor bancário é demasiadamente concentrado, a vulnerabilidade da rede (ou o risco sistêmico) aumenta porque a bancarrota de um único agente muito conectado, mesmo sendo um evento raro, pode gerar um grande montante de falências.

1.2 Literatura Teórica *Agent-Based*

1.2.1 Delli Gatti, Gallegati, Greenwald, Russo e Stiglitz (Delli Gatti et al., 2010)

Existem modelos presentes na literatura formal que introduziram heterogeneidade no setor bancário e, portanto, foram capazes de superar as críticas expostas acima. Este é o caso, por exemplo, do trabalho pioneiro e seminal de Delli Gatti et al. (2010). Baseando-se nas ideias construídas anteriormente em Delli Gatti et al. (2006, 2009), os autores foram capazes de modelar uma rede de crédito que evolui de forma endógena ao longo da simulação. Dessa forma, realizou-se uma extensão do arcabouço tradicional do acelerador financeiro exposto no início deste capítulo, mostrando como a transmissão de problemas financeiros por meio de uma rede de crédito pode amplificar os ciclos econômicos, dependendo da topologia da rede. Essa extensão foi denominada pelos autores como “*network-based financial accelerator*”.

O modelo exposto em Delli Gatti et al. (2010) possui firmas e bancos heterogêneos. As firmas podem ser de dois tipos distintos: produtoras de bens finais e produtoras de bens intermediários. As últimas produzem para atender à demanda das primeiras e somente vendem seu produto por meio de crédito comercial. As firmas de bens finais produzem para atender à demanda das famílias e, para isso, tomam crédito comercial e bancário. Por fim, os bancos são emprestadores puros, ou seja, emprestam para ambos os tipos de firma.

As taxas de juros cobradas tanto pelo crédito comercial quanto pelo bancário possuem dois componentes diferentes. O primeiro é um fator específico do emprestador, o qual captura a solidez financeira do mesmo. Neste modelo, é utilizado o patrimônio líquido do credor. Capturando a solidez financeira do tomador, o segundo fator é a sua taxa de alavancagem passada. Dessa forma, a taxa de juros cobrada por um determinado empréstimo é negativamente relacionada com o patrimônio líquido do emprestador e positivamente relacionada com a taxa de alavancagem do tomador. Assim, é modelado o mecanismo do acelerador financeiro em Delli Gatti et al. (2010).

Esclarecido o mecanismo, os autores comparam dois processos de seleção distintos através

dos quais as firmas escolhem os seus parceiros de relacionamento de crédito. No cenário base, em todo período, as firmas observam uma amostra aleatória dos potenciais emprestadores. Caso a taxa de juros cobrada pelo seu fornecedor antigo seja menor do que a de seu potencial novo fornecedor, a firma permanece com o antigo. No entanto, se a taxa de juros cobrada pelo parceiro atual for maior do que a do seu concorrente, a firma realiza a troca de um pelo outro com uma probabilidade ponderada pela diferença entre as taxas de juros cobradas por cada credor analisado. Esse mecanismo garante que a rede de crédito evolua de forma endógena, com bancos de maior patrimônio líquido fornecendo taxas de juros menores do que bancos menos sólidos financeiramente.

O cenário alternativo é um mecanismo de seleção completamente aleatório por parte das firmas. Dessa forma, em todo período, a firma escolhe um credor de forma aleatória tanto para o crédito comercial quanto para o bancário. Através das simulações, os autores demonstram como o mecanismo de seleção endógeno afeta a topologia da rede de crédito, fazendo com que haja pontos assimetricamente grandes, ou seja, poucos emprestadores que fornecem crédito para diversas firmas. Tal fato impacta sensivelmente no mecanismo do acelerador financeiro, pois aumenta o risco sistêmico, elevando a possibilidade de uma enorme onda de falência em caso de um agente altamente conectado vir à bancarrota.

Apesar de avançar em relação ao arcabouço original do acelerador financeiro, o modelo presente em Delli Gatti et al. (2010) possui diversas simplificações fortes que poderiam ser relaxadas. Por exemplo, existem mercados não modelados explicitamente, como o mercado de bens de consumo. O preço dos produtos é determinado de forma completamente exógena e aleatória. Esse fator faz com que diversos *feedbacks* entre o mecanismo do acelerador e esses mercados não possam ser avaliados. Um segundo problema é que a rede de crédito modelada permanece simples, no sentido de que os empréstimos duram apenas um período e cada firma somente pode adquirir crédito de um único parceiro por vez.

Além disso, este modelo não apresenta acumulação de capital, retirando completamente o investimento das firmas do mecanismo. Isso é problemático, pois um dos principais motivos para as firmas buscarem financiamento é justamente para financiar a aquisição de bens de capital. Ou seja, essa simplificação remove uma parte importante do canal de transmissão do acelerador financeiro. Esses fatores fazem com que o mecanismo fique demasiadamente distante de sua contraparte real. Por fim, o modelo apresenta um produto totalmente determinado por fatores de oferta, ou seja, não existe a possibilidade de crises causadas por insuficiência de demanda efetiva, já que todo produto é necessariamente realizado.²

²Não existe acúmulo de estoques neste modelo. Assume-se que as firmas produtoras de bens intermediários produzem somente sob encomenda, não havendo a possibilidade de descompasso entre demanda e oferta de bens intermediários. No caso das firmas produtoras de bens finais, é pressuposto que estas vendem toda a sua produção ao preço estocástico. Portanto, o produto da economia é sempre realizado, o que indica a suposição implícita da Lei de Say neste modelo.

1.2.2 Riccetti, Russo e Gallegati (Riccetti et al., 2013)

Riccetti et al. (2013) propõem uma extensão do acelerador financeiro apresentado em Delli Gatti et al. (2010), com um novo mecanismo, qual seja, os ciclos de alavancagem. Para tal, os autores alteram a forma como as firmas montam a sua estrutura de capital. O modelo original utiliza a teoria da *pecking order* (Myers, 1984 e Myers and Majluf, 1984), enquanto o modelo alternativo a substitui pela teoria dinâmica do *trade-off* (Frank e Goyal, 2008). De acordo com esta última, as firmas buscam de forma ativa uma determinada meta de alavancagem de longo prazo, procurando equilibrar os custos e os benefícios do endividamento, mesmo que fricções de mercado impeçam o ajuste instantâneo a essa meta. Dessa forma, as empresas teriam um nível de dívida determinado e compatível com a sua meta de alavancagem, embora não necessariamente alcancem esse objetivo em um único período, realizando o ajuste ao longo do tempo.

O novo mecanismo através do qual as firmas escolhem a sua demanda por empréstimos funciona da seguinte forma. Primeiramente, as firmas escolhem a sua meta de alavancagem através de um processo adaptativo, pois se assume que elas não são capazes de calcular qual seria a taxa ótima de alavancagem.³ A meta é sempre a taxa de alavancagem anterior reajustada para cima ou para baixo, dependendo se os lucros esperados são maiores ou menores que os custos de financiamento. A partir da meta de alavancagem, é possível determinar a quantia de crédito a ser demandada, multiplicando-a pelo patrimônio líquido da firma.

Essa alteração faz com que exista um novo movimento atuando no acelerador financeiro. Além do efeito das falências nos balanços patrimoniais (causando *feedbacks* nas taxas de juros), surge um segundo efeito que trata das próprias firmas buscando reduzir as suas taxas de alavancagem. Esse movimento ocorre devido à queda dos lucros esperados, tornando os custos de financiamento superiores aos ganhos, o que leva a empresa a reduzir consistentemente sua meta de alavancagem. Esse segundo efeito, o caráter pró-cíclico da taxa de alavancagem, reforça o primeiro, implicando em flutuações ainda maiores do produto. Esse “novo” acelerador financeiro é denominado pelos autores como “*leveraged network-based financial accelerator*”.

Tendo ampliado o mecanismo, Riccetti et al. (2013) constroem dois cenários distintos para contrastá-los. No cenário base, a taxa de alavancagem é flexível e ajustada a todo período da forma exposta acima. No alternativo, a taxa de alavancagem é fixa, ou seja, a estrutura de capital das firmas passa a ser determinada pela teoria do *trade-off* original (Frank e Goyal, 2008). Os autores demonstraram que a simulação com a taxa de alavancagem flexível apresentou uma volatilidade maior do produto. Tal fato aponta que o novo efeito dos ciclos de alavancagem de fato reforça o mecanismo original e amplia ainda mais os ciclos econômicos.

Apesar de não ser o foco do artigo, Riccetti et al. (2013) também realizam experimentos de política monetária e macroprudencial por meio de alterações nos parâmetros da taxa básica

³Dentro de um prisma teórico neoclássico, a firma seria capaz de otimizar intertemporalmente e calcular qual seria a sua taxa de alavancagem ótima para todos os períodos de tempo.

de juros e de reservas compulsórias sobre os depósitos bancários. Começando com a política monetária, o aumento da taxa básica leva a uma elevação da taxa cobrada nos empréstimos bancários, o que, por sua vez, causa dois efeitos por meio do acelerador financeiro. Em primeiro lugar, a falência de firmas e a quantidade de empréstimos não pagos aumentam. Em segundo lugar, as firmas demandam menos crédito, buscando reduzir a sua alavancagem. Os resultados demonstram que os efeitos da política monetária são mais fortes quando a taxa de alavancagem das firmas é fixa, sugerindo que as autoridades monetárias deveriam levar esses efeitos em consideração na sua formulação de política.

No caso da política macroprudencial, um aumento no coeficiente de reservas compulsórias implica que os bancos irão demandar mais liquidez (depósitos) para manter o seu volume de crédito. Como resultado, o custo financeiro dos bancos se eleva, pois precisam remunerar uma quantia maior de depósitos bancários. Tal fato implica em uma elevação da taxa de juros cobrada nos empréstimos feitos para as firmas, o que, por sua vez, afeta a economia da mesma forma que no caso da política monetária. Dessa maneira, os resultados gerados pelas mudanças na política monetária e macroprudencial são qualitativamente similares, com a exceção sendo o volume menor de falências bancárias no segundo caso, visto que os bancos ficam mais capitalizados.

Excetuando a alteração da teoria que fundamenta a demanda de crédito das firmas e a elevação da duração de períodos dos empréstimos de um para dois, o modelo apresentado em Riccetti et al. (2013) é bastante similar ao de Delli Gatti et al. (2010). Isso significa que as simplificações comentadas sobre o modelo anterior continuam presentes, com um problema adicional de que agora são tiradas implicações de política econômica. Dessa forma, o mecanismo do acelerador financeiro construído em Riccetti et al. (2013) poderia ser representado de forma mais realista e ser inserido em um ambiente mais completo, onde possíveis *feedbacks* do mecanismo pudessem ser avaliados e os impactos de alterações na política econômica melhor analisados.

1.2.3 Riccetti, Russo e Gallegati (Riccetti et al., 2018)

Os modelos apresentados até o momento focam no mecanismo do acelerador financeiro em si e demonstram como ele é capaz de amplificar os impactos dos choques reais, gerando grandes flutuações do produto. No entanto, existem trabalhos na literatura *agent-based* que utilizam o acelerador financeiro para tratar exclusivamente de temas como política monetária e regulação macroprudencial, pois ele configura um importante mecanismo de transmissão dessas políticas.

Dentro desse contexto, Riccetti et al. (2018) analisam os efeitos da regulação bancária sobre a estabilidade financeira e a dinâmica macroeconômica. A contribuição dos autores baseia-se em um trabalho anterior, Riccetti et al. (2015), onde é construído um modelo em que famílias, bancos e firmas heterogêneos interagem em quatro mercados distintos: de bens, de trabalho; de

crédito; e de depósitos. Além disso, existem dois operadores de política econômica, o governo e o banco central.

O acelerador financeiro é modelado de forma similar ao presente em Riccetti et al. (2013). As firmas determinam sua estrutura de capital com base na teoria dinâmica do *trade-off*, alterando sua meta de alavancagem de acordo com os lucros esperados e o estoque de bens. Caso os ganhos previstos estejam acima da taxa de juros esperada e o estoque de bens esteja baixo, as firmas aumentam sua meta de alavancagem e vice-versa.

Do ponto de vista dos bancos, estes determinam o quanto irão fornecer de crédito com base em seu patrimônio líquido, seus depósitos e na quantia de moeda adiantada pelo banco central. Contudo, existe uma restrição regulatória sobre o volume de crédito que cada banco pode ofertar. Este deve ser o menor valor entre o patrimônio líquido do banco multiplicado pelo parâmetro de exposição máxima a ativos arriscados (neste modelo, somente empréstimos corporativos) e a soma de depósitos bancários, adiantamentos do banco central e uma fração do patrimônio líquido do banco, que representa a parcela máxima do capital que pode ser investida. Para reduzir o risco de concentração, os bancos também possuem uma restrição do quanto podem emprestar para uma única firma.

Com relação à taxa de juros dos empréstimos, os bancos a determinam com base em três componentes: a taxa básica de juros, definida pelo banco central; um componente específico do banco, o qual é reduzido no caso da quantia disponível para empréstimos não ser totalmente utilizada e vice-versa; por fim, um componente específico para a firma demandante de crédito, que configura um prêmio de risco sobre a taxa de alavancagem da mesma.

Portanto, caso ocorra uma crise que faça os lucros de uma determinada firma caírem, a taxa de alavancagem desta irá se elevar. Esse resultado leva os bancos a cobrarem uma taxa de juros maior para esta firma em específico, diminuindo ainda mais seus lucros e forçando uma redução na produção da mesma, reiniciando o ciclo. Além deste mecanismo, soma-se o movimento da própria firma reduzindo a sua meta de alavancagem e, conseqüentemente, diminuindo ainda mais o seu produto. Assim como em Riccetti et al. (2013), o acelerador financeiro deste modelo possui os dois efeitos.

Por meio de simulações numéricas, os autores demonstram que o modelo é capaz de gerar ciclos econômicos de forma endógena, com as flutuações ampliadas pelos efeitos mencionados acima. O modelo mostra uma relação não-linear entre a alavancagem do setor financeiro e a expansão da economia. Dessa forma, quando a exposição do setor bancário aumenta, as firmas obtêm um volume maior de crédito e expandem sua produção. No entanto, quando a exposição dos bancos se torna excessiva, isso leva a uma maior instabilidade (mais falências) e a um nível de desemprego mais elevado.

A análise de sensibilidade sobre os parâmetros da regulação macroprudencial mostrou que, caso esta seja excessivamente restritiva, a contração do crédito se torna muito severa, afetando negativamente o desempenho da economia. Por outro lado, se a regulação for excessivamente permissiva, a fragilidade financeira se eleva, aumentando a probabilidade de haver uma avalan-

che de falências e um alto nível de desemprego.

Outro resultado interessante é obtido através do cenário denominado de desregulamentação. Neste, o lucro dos bancos aumenta sensivelmente porque eles não estão restritos à regulação prudencial. Caso esse aumento dos lucros seja direcionado para fortalecer o patrimônio líquido dos bancos e, portanto, a solidez do setor bancário, o resultado é uma melhora no desempenho da economia. Contudo, caso os lucros excessivos sejam distribuídos na forma de dividendos, a fragilidade financeira se eleva, causando uma maior volatilidade do produto e um maior nível de desemprego.

O modelo construído em Riccetti et al. (2018) relaxou algumas das simplificações fortes presentes nos dois modelos apresentados acima. Contudo, esse modelo continua sendo de ciclo puro, não existindo nenhum mecanismo que eleve a produtividade dos fatores de produção ao longo do tempo. Essa característica faz com que esse modelo não seja capaz de representar o impacto de acontecimentos que ocorrem ao longo do ciclo econômico para a dinâmica de longo prazo da economia, como por exemplo, a histerese.⁴

1.2.4 Riccetti, Russo e Gallegati (Riccetti et al., 2021)

Ainda dentro do tema da regulação macroprudencial, Riccetti et al. (2021) modificam o modelo exposto por Riccetti et al. (2013). A nova economia artificial é povoada com firmas e bancos heterogêneos. Os mercados de bens, de trabalho e de depósitos não são modelados de forma explícita e o ciclo econômico é introduzido de forma exógena pelo operador unitário de lucros. Este é um número aleatório retirado de uma distribuição normal para cada firma em cada período. A média desta distribuição normal é modelada como um processo autorregressivo (AR) calibrado para o Produto Interno Bruto (PIB) da Alemanha e do Japão. Um valor alto do operador unitário de lucro representa um regime de alta demanda para a firma, enquanto um valor baixo representa um regime de baixa demanda, o qual pode levar a firma à bancarrota.

Neste modelo, a demanda por crédito das firmas também é determinada pela teoria dinâmica do *trade-off*. A diferença fundamental em relação ao trabalho original é que as decisões de produção e estrutura de capital foram separadas. Dessa forma, a firma define uma meta de produção com base no operador unitário de lucros. Caso este seja positivo, a meta de produção é aumentada e vice-versa. Dado isso, as firmas encontram sua meta de estoque de capital, dividindo a primeira pelo parâmetro de produtividade.

Similarmente, a firma ajusta sua meta de alavancagem passada de acordo com seu lucro por unidade de capital *vis-à-vis* seu custo de financiamento. Tendo determinado a meta de alavancagem e de capital, a firma obtém a meta de patrimônio líquido. A diferença entre esta e o patrimônio líquido efetivo é distribuída na forma de dividendos e recompra de ações (a

⁴Para mais detalhes sobre o fenômeno da histerese e sua importância para dinâmica macroeconômica, consulte Setterfield (2009).

qual funciona como distribuição extraordinária de dividendos). A demanda de crédito da firma é determinada pelo mínimo entre a meta de estoque de capital subtraída de seu patrimônio líquido e o próprio patrimônio líquido multiplicado por um valor arbitrário (dez).

Assim como no modelo original, os empréstimos duram dois períodos e a firma pode obtê-los junto a, no máximo, dois bancos. A taxa de juros cobrada por estes depende da taxa básica, do prêmio de risco, dos custos de operação e do *mark-up*. O prêmio de risco é uma função da probabilidade de *default* da firma que deseja o crédito e da parcela de empréstimos não pagos no total emprestado. Dessa forma, o prêmio de risco se reduz tanto com a solidez financeira da firma tomadora do empréstimo quanto da economia como um todo. É importante ressaltar que não há nenhum componente específico de cada banco. Logo, todos os bancos cobram exatamente a mesma taxa de juros para uma determinada firma.

A quantia máxima que os bancos podem oferecer de crédito a cada período é definida pelo seu patrimônio líquido e pelo amortecedor contracíclico de capital, que representa a regulação macroprudencial no modelo. Além disso, existe um limite do quanto dessa quantia máxima pode ser emprestada para uma única firma, correspondendo a 25% do patrimônio líquido.

Como os bancos cobram a mesma taxa de juros para cada firma, o processo iterativo que vigorava no mercado de crédito anterior teve que ser alterado. Foi introduzida uma informação espacial dos bancos e das firmas. Dessa forma, sempre que dois ou mais bancos oferecerem a mesma quantia de crédito, a firma escolhe o banco que estiver mais próximo dela. Esse processo continua até que a demanda ou a oferta de crédito se esgote.

Este mecanismo iterativo faz com que a topologia da rede de crédito evolua endogenamente. Como resultado dessa evolução, surgem duas características principais sobre a rede de crédito: a concentração, ou seja, a presença de grandes bancos que realizam empréstimos para diversas firmas; e a coexistência de bancos maiores, fornecendo crédito para firmas de diversos tamanhos, com bancos menores que emprestam apenas para firmas pequenas e locais.

Como resultado das simulações, o modelo demonstrou que, caso o ciclo econômico seja muito indexado ⁵, o amortecedor contracíclico de capital é ineficaz em estabilizar a economia, podendo até mesmo ser um pouco desestabilizador. Em contrapartida, se o ciclo econômico for mais responsivo ⁶, o mesmo instrumento regulatório se mostrou eficiente. Portanto, a autoridade regulatória deve levar em consideração as propriedades do ciclo econômico na formulação da regulação macroprudencial, tendo em mente que uma regra feita para um determinado país pode não funcionar em outro.

Apesar de reduzi-las, Riccetti et al. (2021) ainda mantêm diversas simplificações do trabalho original (Riccetti et al., 2013), como, por exemplo, mercado de bens não modelado e ciclos econômicos totalmente exógenos. Além disso, assim como no caso de seu antecessor, implicações de política econômica são retiradas apesar dessas simplificações. Portanto, o acele-

⁵Quando o nível de produto atual depende excessivamente do seu valor no período anterior.

⁶Quando o nível de produto atual é menos dependente do passado e, portanto, mais sensível a mudanças de política econômica.

rador financeiro representado neste modelo poderia ser enriquecido e inserido em um ambiente mais completo, possibilitando uma avaliação mais precisa dos efeitos de mudanças na política macroprudencial.

1.2.5 Alexandre, Lima, Riccetti e Russo (Alexandre et al., 2023)

Saindo do tema da regulação macroprudencial, Alexandre et al. (2023) utilizam um modelo *agent-based* para verificar como a topologia da rede de crédito entre bancos e firmas se modifica diante de choques na taxa básica de juros. Dessa forma, diferente dos casos anteriores onde se analisava como o mecanismo do acelerador financeiro afeta os ciclos econômicos, ou como este serve para analisar os efeitos da política econômica, agora se avalia como o próprio mecanismo se modifica frente aos choques de política econômica.

Para isso, os autores constroem um modelo com famílias, firmas e bancos heterogêneos. O governo, consolidado com o banco central, realiza a política monetária. A demanda de crédito das firmas é definida da mesma forma que nos modelos anteriores, pela teoria dinâmica do *trade-off*. Por fim, a meta de alavancagem é elevada se os lucros nominais foram positivos e vice-versa.

Dada a demanda de crédito, o processo iterativo entre firmas e bancos se inicia. Sobre este aspecto, os autores estabelecem duas hipóteses. Em primeiro lugar, é assumido que os bancos preferem emprestar para firmas com baixa alavancagem. Em segundo lugar, pressupõe-se que as firmas também preferem tomar empréstimos de bancos menos endividados. Dessa forma, existe uma tendência de que bancos e firmas sólidos financeiramente se relacionem no mercado de crédito.

Assim como nos casos anteriores, a oferta de crédito total dos bancos é determinada pela regulação prudencial. Existe um limite superior para a taxa de alavancagem dos bancos. Além dessa restrição, os bancos definem um amortecedor de capital que é uma função dos empréstimos não pagos. Os empréstimos têm uma duração exógena e constante. Por fim, os bancos possuem uma restrição de que podem emprestar até no máximo 25% do seu patrimônio líquido para uma única firma.

De forma similar a Delli Gatti et al. (2010), a taxa de juros cobrada nos empréstimos é definida por um *mark-up* sobre a taxa básica de juros. Essa margem depende de dois componentes distintos: a taxa de alavancagem do banco prestador e da firma tomadora do empréstimo. É desta maneira que o acelerador financeiro é modelado em Alexandre et al. (2023).

Os autores realizaram experimentos de choques na taxa básica de juros da economia para avaliar como a topologia da rede de crédito se alterou, chegando-se a três resultados principais. O primeiro foi que choques positivos na taxa de juros levam a um decréscimo da densidade da rede de crédito e vice-versa. Dessa forma, quando o fluxo de crédito aumenta devido a uma redução na taxa de juros, o que acontece é um aumento da oferta de crédito para novos clientes

ao invés de elevar a quantia fornecida para os clientes antigos.

O segundo resultado foi que choques negativos na política monetária tornam a rede de crédito mais assimétrica, ou seja, os novos relacionamentos de crédito gerados são entre bancos altamente conectados e firmas pouco conectadas, e vice-versa. Similarmente, um choque positivo, em sua maior parte, destrói exatamente essas relações entre agentes muito e pouco conectados.

Por fim, o terceiro resultado trata dos impactos de choques na taxa básica de juros sobre a curtose da distribuição de grau de bancos e firmas.⁷ Choques temporários sobre a taxa básica de juros reduzem a curtose da distribuição para os dois tipos de agentes. Já choques negativos permanentes diminuem a curtose da distribuição de grau dos bancos e aumentam a das firmas. Choques positivos permanentes possuem o efeito contrário. Essa assimetria dos resultados, indica que, quando ocorre um aumento do volume de crédito devido a uma queda na taxa de juros, um número maior de bancos passa a oferecer crédito para firmas que demandam mais financiamento.

Assim como Riccetti et al. (2018), Alexandre et al. (2023) construíram um modelo menos estilizado que os demais. No entanto, Alexandre et al. (2023) também não incluem fatores de crescimento de longo prazo, fazendo com que a produtividade seja um parâmetro fixo do modelo. Dessa forma, assim como no caso anterior, não é possível avaliar os efeitos de acontecimentos ao longo do ciclo econômico sobre a tendência de longo prazo da economia.

1.2.6 Giri, Riccetti, Russo e Gallegati (Giri et al. 2019)

Adentrando o tema da política monetária, Giri et al. (2019) também se utilizam do mecanismo do acelerador financeiro para avaliar os efeitos da mesma, especialmente da política monetária não-convencional. O modelo é uma extensão de Riccetti et al. (2015), com a adição de um novo setor e de um novo mercado: o setor de bens de capital e o mercado de bens de capital. No entanto, é feita uma simplificação em relação ao trabalho original, o setor bancário desta vez é totalmente agregado.

Assim como em Delli Gatti et al. (2010), a demanda por crédito das firmas é determinada pela teoria da *pecking order* (Myers, 1984 e Myers and Majluf, 1984). Dessa forma, devido a problemas de informação assimétrica, as firmas preferem se financiar com recursos internos antes de recorrer ao financiamento externo. Portanto, a demanda de crédito das firmas é o valor preciso para custear o nível de produção desejado menos a quantidade de lucros retidos, somada à quantia de crédito necessária para cobrir algum problema de liquidez no período passado, se houver.

O volume de crédito ofertado pelo setor bancário depende do seu patrimônio líquido e da

⁷No estudo de redes, o grau de um nó representa a quantidade de conexões que esse nó possui com outros nós. A distribuição de graus trata-se da distribuição de probabilidade de graus dos nós de toda a rede.

sua propensão a emprestar. Esta evolui de acordo com o retorno dos empréstimos às firmas *vis-à-vis* a remuneração dos títulos públicos. Desta maneira, a propensão a emprestar se reduz caso o retorno dos empréstimos seja menor que a remuneração dos títulos públicos e vice-versa. Se não ocorrer nenhum dos casos, a propensão a emprestar permanece constante.

Por fim, a taxa de juros cobrada pelos bancos é determinada pela taxa básica de juros, definida pelo banco central através de uma regra de Taylor convencional, e pelo prêmio de risco. Este se eleva de acordo com a alavancagem da firma que demanda o financiamento. Dessa forma, quanto mais endividada, maior é a taxa de juros cobrada da firma pelo setor bancário.

Os autores avaliam os resultados de duas configurações distintas de política monetária. No cenário base, o banco central determina sua política de acordo com uma regra de Taylor. Enquanto no cenário alternativo, o banco central realiza uma política monetária não-convencional frente a uma crise na atividade econômica. Neste caso, a taxa básica de juros é mantida próxima de zero por um período prolongado.

Por meio de simulações do cenário base, os autores verificaram que a taxa de juros se reduz para níveis bem baixos, próximos a zero, por volta de 20 períodos. Durante esse intervalo, a economia se recupera, apresentando pleno emprego e um alto crescimento do produto. No entanto, após essa recuperação, o banco central volta a subir rapidamente a taxa de juros, seguindo o comportamento descrito pela regra de Taylor. Como resultado, a economia mergulha em uma nova recessão.

Já no cenário alternativo, o banco central mantém a política monetária expansionista por um período mais prolongado. Neste caso, os autores demonstram que a economia se recupera da recessão inicial e evita completamente a subsequente. A taxa de crescimento do produto fica acima da apresentada pelo cenário base e a taxa de desemprego se torna estável. Dessa forma, a política monetária não-convencional se mostrou capaz de evitar uma contração do crédito para as firmas e, conseqüentemente, uma nova recessão após a primeira.

Dados esses resultados, os autores chegam a três conclusões. Primeiramente, um aumento da taxa de juros de curto prazo demasiadamente rápido e/ou forte pode causar uma crise de grandes proporções. Após uma recessão, se o banco central voltar a subir a taxa de juros de forma muito acelerada, a probabilidade de ocorrer uma segunda recessão é bem alta. Por fim, a permanência prolongada da taxa básica de juros em um nível próximo de zero ajudou o banco central a estabilizar a economia, pelo menos no curto prazo.

Como já mencionado, o modelo apresentado em Giri et al. (2019) tem a vantagem sobre o modelo original de possuir o setor de bens de capital e o seu respectivo mercado. No entanto, esse avanço veio ao mesmo tempo de uma simplificação relevante, que é a agregação do setor bancário. Isso torna o mecanismo do acelerador financeiro menos refinado, pois se perde completamente o impacto relevante que as falências bancárias possuem sobre a economia, especialmente no caso de um banco altamente conectado.

1.2.7 Popoyan, Napoletano e Roventini (Popoyan et al., 2017)

Popoyan et al. (2017) desenvolveram um modelo *agent-based* para analisar o impacto na dinâmica macroeconômica de regulações macroprudenciais distintas e suas interações com a política monetária. Para realizar essa tarefa, os autores expandiram o modelo presente em Ashraf et al. (2011), provendo um maior detalhamento das decisões dos bancos e dos balanços patrimoniais.

A economia artificial é povoada por bancos, firmas e trabalhadores heterogêneos. As firmas precisam de crédito para financiar sua produção, o qual é fornecido pelos bancos de acordo com a regulação macroprudencial. O governo resgata os bancos falidos e tributa as vendas. Por fim, o banco central determina a política monetária de acordo com diferentes tipos de regra de Taylor e define a política macroprudencial inspirada em Basileia 2 ou Basileia 3.

O total de crédito que cada banco pode ofertar em cada período depende de seu patrimônio líquido, do requerimento mínimo de capital e de sua exposição total ao risco de crédito. A firma somente se configura apta a receber financiamento se passar no teste em três indicadores avaliados pelos bancos. Estes visam definir de forma objetiva se a firma tem capacidade e capital para honrar o empréstimo. Caso a firma seja qualificada, ela recebe um volume de crédito que é igual a uma parcela do que oferece como colateral, sendo este o inventário da firma.

A taxa de juros cobrada nos empréstimos é determinada por meio de um *spread* anual fixo e comum para todos os bancos sobre a taxa básica de juros da economia. Além disso, o banco somente pode conceder empréstimos se cumprir a regulação macroprudencial. Caso contrário, ele deve obter um adiantamento junto ao banco central para se recapitalizar.

Os autores comparam o desempenho macroeconômico do modelo com a regulação de Basileia 2 e 3. Constatou-se que a regulação de Basileia 3 foi capaz de estabilizar o setor bancário e melhorar a performance da economia, pois as simulações com esse arcabouço regulatório apresentaram um menor hiato e volatilidade do produto, menor taxa de desemprego média e menor ocorrência de crises bancárias.

Além deste exercício, os autores comparam a introdução individual dos três pilares da regulação de Basileia 3, quais sejam: os requerimentos de capital, o amortecedor de capital contracíclico e o requerimento de liquidez. O resultado foi que a melhora sobre o cenário com a regulação de Basileia 2 se deve principalmente ao requerimento de capital e ao amortecedor de capital contracíclico.

Segundo os resultados apresentados, o requerimento de alavancagem piora o desempenho da economia em relação ao cenário com Basileia 2. Em contrapartida, no caso com todos os instrumentos, mostrou-se ter o melhor desempenho macroeconômico. Portanto, os instrumentos de Basileia 3 se combinam de forma não-linear. A utilização de todos ao mesmo tempo traz o melhor resultado, ao passo que a adição individual de cada um pode trazer uma piora na performance macroeconômica.

Além de analisar a política macroprudencial, Popoyan et al. (2017) também avaliam os

impactos da política monetária sobre a economia. Para isso, os autores constroem quatro tipos distintos de regra de Taylor. A primeira é uma regra de mandato duplo, onde o banco central busca estabilizar a inflação e o hiato de produto. A segunda regra é chamada de “conservadora”, pois o banco central somente se importa com a estabilização da inflação. A terceira regra também é um mandato duplo, mas agora a taxa de desemprego substitui o hiato de produto. Por fim, na quarta e última regra, o banco central possui um mandato triplo e busca estabilizar a inflação, o hiato de produto e o crescimento do volume de crédito.

Segundo os resultados obtidos pelos autores, a quarta regra apresenta o melhor desempenho em termos de hiato e volatilidade do produto, incidência de crises e falências bancárias. Contudo, a terceira regra, que leva em consideração as condições do mercado de trabalho, apresentou a menor taxa de desemprego média, enquanto a regra “conservadora” apresentou a menor média de inflação. Esses resultados apontam para o fato de que a política monetária “adequada” depende do objetivo final da autoridade monetária. Por fim, ressalta-se que os resultados obtidos sobre a política macroprudencial se demonstraram robustos a mudanças na regra de política monetária.

Popoyan et al. (2017) chegam a resultados interessantes sobre a política monetária e macroprudencial. No entanto, o mecanismo do acelerador financeiro e o mercado de crédito são representados de forma muito simplificada. O fato de a taxa de juros dos empréstimos ser constante e independente das condições financeiras tanto do banco quanto da firma tomadora exclui em grande parte o efeito amplificador do mecanismo.

1.3 Literatura Empírica

Nesta seção, será feita uma breve revisão da literatura empírica sobre o setor bancário. As regularidades empíricas e/ou evidências coletadas nesta parte do trabalho serão utilizadas posteriormente para verificar se o modelo é capaz de reproduzi-las. Foram recolhidas oito regularidades estatísticas e uma tabela resumo contendo todas elas está presente na seção conclusiva do capítulo.

1.3.1 Taxa de Alavancagem e Estrutura de Capital

A taxa de alavancagem é geralmente entendida como a razão entre os ativos e o patrimônio líquido de um determinado agente. Na maior parte dos casos, o valor dos ativos possui um comportamento pró-cíclico, ou seja, ele aumenta na fase ascendente do ciclo econômico e se reduz na fase descendente (Adrian e Shin, 2008, 2009 e 2010). Dado esse comportamento,

espera-se que a taxa de alavancagem seja anticíclica ⁸, pois apesar dos ativos entrarem tanto no numerador quanto no denominador da razão, o aumento do patrimônio líquido costuma ser proporcionalmente maior. Dessa forma, o fato de o valor dos ativos ser pró-cíclico deveria implicar em uma taxa de alavancagem anticíclica.

No entanto, Adrian e Shin (2008, 2009, 2010) demonstraram através dos relatórios regulatórios da *Securities and Exchange Commission* (SEC) que esse resultado não se verifica na realidade. Os autores coletaram dados dos cinco maiores bancos de investimento norte-americanos da época, durante o período entre os anos 90 e o primeiro trimestre de 2008. Com a base de dados em mãos, os autores avaliaram a relação entre o crescimento dos ativos e o crescimento da taxa de alavancagem. Para todos os cinco bancos, a relação foi positiva entre as duas variáveis. Dessa forma, a taxa de alavancagem se mostrou pró-cíclica para esses bancos, ao contrário do esperado.

Esse resultado empírico significa que os bancos de investimento estão buscando ativamente contrapor o movimento que seria natural da taxa de alavancagem, ou seja, eles estão respondendo à valorização dos ativos com a ampliação de seus balanços patrimoniais. Adrian e Shin (2008, 2009, 2010) apontaram que o instrumento utilizado pelos bancos de investimento para gerenciar seus balanços são os empréstimos colateralizados, em especial, os acordos de recompra. Nesses empréstimos de curto prazo, o tomador oferece títulos como colateral para o prestador e se compromete a comprá-los de volta a um preço maior no futuro.

Portanto, a taxa de alavancagem dos bancos de investimento é pró-cíclica. Durante períodos de crescimento econômico, estes aumentam seus passivos mais que seus ativos, fazendo com que a sua taxa de alavancagem se eleve. Similarmente, durante recessões ou crises, os bancos de investimento reduzem seus passivos mais intensamente do que a queda do valor de seus ativos, forçando uma redução da sua taxa de alavancagem.

Adrian e Shin (2008, 2009, 2010) apontam que esse comportamento dos bancos de investimento é uma consequência de seus modelos de risco. Essencialmente, os intermediários financeiros buscam manter uma exposição ao risco constante enquanto maximizam sua alavancagem. Um conceito frequentemente usado é o *value-at-risk* (VaR), que se trata de uma estimativa da pior perda possível para uma determinada instituição financeira. Logo, os bancos de investimento ajustam seus balanços de forma a garantir que seu patrimônio líquido seja compatível com o risco de seus ativos. Nesse sentido, para um dado patrimônio líquido, um menor *value-at-risk* permite os bancos de investimento expandam seus balanços, ou seja, a taxa de alavancagem é negativamente relacionada com o risco dos ativos. Como este é anticíclico, o gerenciamento de balanço dos bancos leva a uma taxa de alavancagem pró-cíclica.

Dessa forma, os bancos de investimento gerenciam ativamente seus balanços patrimoniais buscando usos para seu “excesso” de capital. Os autores fazem uma analogia com o setor

⁸Adrian e Shin (2008, 2009, 2010) têm o setor das famílias em mente quando fazem essa afirmação. Os autores mostram, com dados do *flow of funds*, que a taxa de alavancagem desse setor institucional é marcadamente anticíclica.

manufatureiro, afirmando que quando os ativos se valorizam, os bancos de investimento ficam com “capacidade ociosa” e, assim, visando utilizar esse “excesso”, expandem os seus balanços. Do lado dos passivos, eles tomam empréstimos de curto prazo, enquanto do lado dos ativos eles buscam potenciais tomadores para os quais podem emprestar.

Do ponto de vista das instituições financeiras, as razões que levam a esse comportamento da taxa de alavancagem são bem claras. No entanto, as consequências agregadas desse comportamento para o sistema financeiro como um todo não são claras. Por exemplo, o fato de a taxa de alavancagem ser pró-cíclica implica que as respostas usuais da demanda e da oferta frente a mudanças no preço dos ativos ficam invertidas.

Considerando um período de crescimento, ou seja, quando o preço dos ativos detidos pelos bancos de investimento aumenta, a valorização desses ativos leva a uma elevação do patrimônio líquidos dessas instituições, resultando em um fortalecimento do balanço patrimonial das mesmas. Tal fato implica em uma queda da taxa de alavancagem que deve ser compensada com um movimento na direção oposta, que é tomar recursos emprestados e utilizá-los para comprar ainda mais ativos. Esse comportamento de adquirir mais ativos ao invés de menos quando o preço está subindo configura uma inversão da resposta convencional da demanda.

Além disso, caso o aumento da demanda pelo ativo leve a uma nova pressão para elevar o seu preço, existe um potencial efeito *feedback* que pode gerar um ciclo vicioso. Dessa forma, a valorização dos ativos melhora o balanço patrimonial, o que, por sua vez, aumenta a demanda por ativos, valorizando-os novamente e reiniciando o ciclo. Esse mecanismo funciona exatamente ao contrário em momentos de crise. Portanto, o comportamento dessas instituições tende a ampliar as flutuações do produto.

É importante ressaltar que o mecanismo explicado acima somente ocorre em instituições financeiras. Instituições que não precisam necessariamente se alavancar para obter lucro, como por exemplo as famílias, não apresentam taxa de alavancagem pró-cíclica. Pelo contrário, os dados empíricos trazidos por Adrian e Shin (2010) demonstram claramente que o resultado convencional ocorre no setor das famílias, ou seja, a valorização dos ativos leva a uma queda na alavancagem desses agentes.

Com relação aos bancos comerciais, Adrian e Shin (2010) utilizam dados do *flow of funds* e comparam o crescimento dos ativos *vis-à-vis* o crescimento da taxa de alavancagem dessas instituições. O resultado encontrado é que a dinâmica da taxa de alavancagem não possui relação com o crescimento dos ativos. Tal fato sugere que os bancos comerciais aparentam buscar uma taxa de alavancagem estável, ou seja, acíclica.

Os trabalhos de Adrian e Shin apresentados acima, apesar de seminiais, utilizam apenas dados setoriais agregados do *flow of funds* do *Federal Reserve* (FED) ou dados dos grandes bancos de investimentos obtidos na base de dados da SEC. Dessa forma, os autores somente investigam as diferenças entre bancos comerciais e de investimento olhando para dados agregados e apenas para caso estadunidense. Diante desse fato, Kalemli-Ozcan et al. (2012) buscam verificar os resultados expostos por Adrian e Shin utilizando dados desagregados para o nível da firma e de

diferentes países.

Kalemlı-Ozcan et al. (2012) comprovam os resultados obtidos por Adrian e Shin (2008, 2009, 2010) para os bancos de investimento, tanto estadunidenses quanto europeus. Dessa forma, a taxa de alavancagem destes é pró-cíclica. No entanto, os resultados chegados para os bancos comerciais são distintos. Os autores separaram os grandes bancos comerciais dos pequenos e analisaram ambas as amostras. Concluiu-se que os maiores bancos comerciais também apresentam taxa de alavancagem pró-cíclica, diferentemente do que foi previsto em Adrian e Shin (2010). Contudo, para a amostra de bancos comerciais pequenos, os autores chegaram nas mesmas conclusões expostas acima, ou seja, a taxa de alavancagem dessas instituições é acíclica.

Para os bancos europeus, os autores chegaram a resultados semelhantes aos das contrapartes estadunidenses. No entanto, o comportamento pró-cíclico da taxa de alavancagem se mostrou mais tímido para os grandes bancos comerciais europeus. Além disso, para os pequenos bancos comerciais, a alavancagem destes se demonstrou ainda mais estável do que a dos equivalentes estadunidenses.

Passando para o tema mais amplo da estrutura de capital dos bancos, o resultado mais esperado é que a regulação macroprudencial, como os requerimentos de capital, seja, em última instância, o principal determinante da estrutura de capital das firmas bancárias. Esse raciocínio deriva do fato de que, se a regulação é restritiva, esta faz com que o banco seja forçado a obter um nível de capital mais alto do que gostaria em um cenário sem regulamentação. Dessa forma, haveria uma assimetria entre as firmas bancárias e as não-financeiras, pois enquanto estas escolheriam a estrutura de capital ótima, as primeiras teriam a sua escolha feita por um fator exógeno.

Essa visão afastava pesquisadores de avaliar com mais profundidade os determinantes da estrutura de capital dos bancos. Dentro desse contexto, Gropp e Heider (2010) se inspiraram na teoria das finanças corporativas para realizar um trabalho empírico sobre o tema. O objetivo dos autores era verificar se a regulação macroprudencial é de fato o principal determinante da estrutura de capital dos bancos.

Gropp e Heider (2010) utilizam quatro bases de dados distintas: (1) a *Bankscope da Bureau van Dijk*, que contém informações sobre o balanço consolidado e declarações de renda dos bancos; (2) a *Thompson Financial's Datastream*, para obter informações sobre o preço das ações dos bancos e as quantias pagas de dividendos; (3) a base do *World Economic Outlook* para dados referentes ao nível do país; e (4) dados sobre o seguro de depósitos do Banco Mundial.

O período analisado vai do ano de 1991, quando começa a base de dados da *Bankscope*, até o ano 2004. A data final da base de dados foi escolhida para evitar dois efeitos do período posterior. O primeiro é uma possível antecipação dos bancos frente à implementação do arcabouço regulatório de Basiléia 2. O segundo se trata de evitar o uso extensivo de ações não registradas no balanço patrimonial, as quais levaram à Crise do *Subprime* de 2008. Os autores somente analisam os dados dos 100 maiores bancos dos Estados Unidos e dos 100 maiores bancos de 15

países presentes na União Europeia. Em todos os casos, os bancos possuem ações registradas em bolsa de valores.

Com os dados em mãos, Gropp e Heider (2010) se inspiram na literatura sobre as finanças corporativas, que analisa como a estrutura de capital das empresas não-financeiras é determinada. Os autores constroem um conjunto de estatísticas descritivas e comparam com a respectiva contraparte para empresas do setor produtivo apresentadas em Frank e Goyal (2009). Como resultado, os bancos aparentam ser relativamente mais seguros que as firmas não-financeiras e, conseqüentemente, possuem uma lucratividade menor durante o período analisado. A alavancagem se destacou como sendo bastante distinta entre os dois grupos. Os bancos apresentaram uma taxa de alavancagem média, a valor de mercado, de 92,6% e 87,3% para a mesma variável em valor contábil. Em contraste, as firmas não-financeiras demonstram, respectivamente, 24% e 23%.

Dentro da literatura empírica sobre as finanças corporativas, formou-se um consenso entorno de um conjunto limitado de variáveis que consistentemente se demonstraram importantes determinantes da taxa de alavancagem das firmas não-financeiras. A alavancagem destas é positivamente correlacionada com tamanho e valor do colateral, enquanto a mesma variável é negativamente correlacionada com lucros, o *market-to-book*⁹ e dividendos. A relação de cada uma dessas variáveis com a alavancagem das firmas produtivas pode ser fundamentada em várias teorias distintas sobre a estrutura de capital das firmas (Frank e Goyal, 2008).

Gropp e Heider (2010) realizam uma regressão linear utilizando a base de dados citada, buscando verificar se as variáveis encontradas como relevantes para as firmas não-financeiras também se apresentam da mesma forma para a taxa de alavancagem das firmas bancárias. Os resultados da regressão apresentaram coeficientes significativos a 1% de significância, com exceção dos colaterais, que foram significativos a 10%. Todos os coeficientes possuem os exatos mesmos sinais que os obtidos por Frank e Goyal (2009) para as firmas não-financeiras. A taxa de alavancagem dos bancos depende positivamente do tamanho e do colateral, e negativamente dos lucros, do *market-to-book* e dos dividendos. Esses resultados se demonstraram robustos às mudanças na medição da alavancagem por valor de mercado e por valor contábil.

O sinal dos efeitos, a significância dos coeficientes e a coerência entre os resultados com as duas medidas diferentes de alavancagem colocam em xeque a visão de que a estrutura de capital das firmas bancárias é primariamente determinada pela regulação macroprudencial. A estrutura de capital dos bancos parece ser determinada por motivos mercadológicos. Portanto, firmas bancárias e não-financeiras aparentam ser mais similares do que intuitivamente se esperaria.

⁹Trata-se da razão entre o valor de mercado de uma empresa e o seu valor patrimonial. Expressa a valorização da firma em relação aos seus dados contábeis.

1.3.2 Concentração e Estabilidade

Os efeitos da concentração e da concorrência no setor bancário para a estabilidade financeira são um tema de debate dentro da literatura (Allen e Gale, 2000, 2004, e Boyd e Nicoló, 2005). Por um lado, uma menor concentração no setor bancário leva a um aumento do poder de mercado e, conseqüentemente, a uma elevação dos lucros. Essa maior lucratividade pode servir como um amortecedor frente a choques negativos e desestimular os proprietários e gerentes a assumirem risco em excesso. Além disso, o monitoramento de um setor mais concentrado é relativamente mais fácil do que em um setor menos concentrado, o que levaria a uma aplicação mais eficiente da regulação macroprudencial, também contribuindo para uma melhor estabilidade financeira.

Por outro lado, a concentração bancária também poderia levar a uma maior fragilidade financeira. A ideia de que um poder maior de mercado levaria a um incremento dos lucros ignora o impacto do primeiro no comportamento das firmas. O aumento da taxa de juros cobrada pelos bancos pode induzir as firmas a assumirem maiores riscos, aumentando a fragilidade financeira.

Dado esses efeitos conflitantes, Beck et al. (2005) utilizam dados de 69 países, entre 1980 e 1997, para avaliar os impactos da concentração do setor bancário sobre a estabilidade financeira. Os resultados empíricos verificados pelos autores corroboram a tese de que a concentração bancária reduz a fragilidade financeira das economias. Essa relação se mantém mesmo considerando características macroeconômicas, financeiras, regulatórias, institucionais e culturais. Ela também se demonstrou robusta frente a uma série de testes de sensibilidade.

Apesar dessa relação empírica entre concentração e estabilidade, os autores destacam que uma redução das restrições regulatórias nos bancos e instituições financeiras, que favoreça a competição, também diminui a probabilidade de ocorrência das crises financeiras. Dessa forma, paradoxalmente, uma maior competição também parece estar relacionada a uma estabilidade financeira mais elevada. Nesse sentido, Beck et al. (2005) apontam que a concentração bancária pode ser um indicador ruim ou insuficiente para medir a concorrência no setor.

1.3.3 Regularidades Empíricas sobre Crédito

Leary (2009) explora os efeitos de fricções no mercado de crédito bancário sobre a taxa de alavancagem e a estrutura de capital das firmas. Para realizar essa tarefa, o autor analisou dois eventos históricos distintos da economia estadunidense. O primeiro deles é o surgimento do mercado de certificados de depósitos negociáveis em 1961, caracterizando um momento de relaxamento das condições de crédito. O segundo evento, o qual representa um período de contração do volume de crédito, é o que ficou conhecido como “Credit Crunch” de 1966, quando o governo pressionou para haver uma restrição de crédito e impôs, por meio da regulação, um teto de juros que limitava a capacidade dos bancos de obter acesso aos depósitos a prazo e

estender empréstimos.

O autor acredita que esses dois eventos históricos configuram experimentos apropriados por três razões. Primeiramente, existem fortes evidências de que representam mudanças na oferta de crédito. Em segundo lugar, os choques aconteceram especificamente nos bancos e não sobre o volume total de crédito da economia. Por fim, os efeitos subsequentes sobre as estruturas financeiras são pouco prováveis de terem sido causados por mudanças no perfil da demanda por crédito.

Utilizando os dados empíricos referentes aos dois momentos, Leary (2009) demonstra que a taxa de alavancagem de pequenas firmas aumenta relativamente mais do que a taxa de alavancagem de firmas grandes frente a choques positivos na oferta de crédito e vice-versa. Esse efeito não se trata apenas de um movimento de curto prazo, pois o autor também demonstra que a própria composição do endividamento das firmas se altera. Dessa forma, a parcela dos empréstimos bancários no financiamento de longo prazo também se eleva para firmas pequenas em relação à mesma variável para firmas maiores, diante de um choque positivo no volume de crédito ofertado.

Leary (2009) apresenta duas razões para as firmas maiores serem menos afetadas por um choque negativo no crédito bancário. A primeira é que os empréstimos bancários para firmas menores e mais arriscadas podem ser mais sensíveis a choques na oferta de crédito do que os empréstimos feitos para firmas maiores. A segunda razão é que as firmas de maior porte têm condições de substituir o financiamento bancário por fonte não bancárias, em especial o mercado de capitais.

Os resultados obtidos por Leary (2009) demonstram como os movimentos do crédito bancário também podem ser um importante determinante da composição do endividamento das firmas. Dessa forma, a diferença de resposta frente a fricções no mercado de crédito pode ser capaz de explicar, em parte, a heterogeneidade existente entre as estruturas de capital das firmas. Portanto, como uma implicação dos resultados do autor, o tamanho da firma é um determinante vital da estrutura de capital da mesma, pois este define, em última instância, o acesso ao mercado de capitais.

Sobre o comportamento do crédito, Lown e Morgan (2006) utilizam dados coletados pelo FED por meio de questionários respondidos pelos maiores bancos dos Estados Unidos para avaliar os efeitos de custos não-monetários, como colateral e contratos de empréstimo, sobre o crédito bancário e o produto da economia. Para realizar essa tarefa, os autores usam o método de vetores autorregressivos (VAR) para inferir os impactos.

Os autores constroem o VAR com quatro variáveis: o produto interno bruto real; o *federal funds rate*, que é a taxa básica de juros da economia estadunidense; o volume de empréstimos comerciais fornecidos pelos bancos; e, por fim, a parcela de bancos que reportaram um aumento nos custos não-monetários do crédito. As variáveis de crédito foram ordenadas após as variáveis macroeconômicas, com os custos não-monetários em último. O modelo VAR inclui quatro defasagens para cada variável. Além disso, a estimação ocorreu sobre um período descontínuo,

separando a base de dados em dois intervalos. O primeiro se inicia no primeiro trimestre de 1968 e termina no primeiro trimestre de 1984. Já o segundo intervalo começa no segundo trimestre de 1990 e termina no segundo trimestre do ano 2000.

Mediante a análise dos resultados gerados pelo modelo VAR, os autores verificaram que o produto da economia é significativo para explicar o volume de crédito, ao passo que o contrário não é verdadeiro. Portanto, esse resultado sugere que o crédito é induzido pelo ritmo de atividade da economia e, conseqüentemente, possui um comportamento pró-cíclico.

Além disso, os custos não-monetários se demonstraram significativos para explicar o comportamento do volume de crédito e do produto real. Ademais, estes custos também se mostraram mais relevantes para determinar o volume de crédito do que a própria taxa de juros dos empréstimos. Portanto, esses resultados são condizentes com a ideia de que as fricções no mercado de crédito induzem os bancos a racionarem seus empréstimos por meio de mudanças nos custos não-monetários, ao invés de alterações na taxa de juros cobrada.

Mora e Logan (2012) realizam um estudo sobre como choques no capital dos bancos podem afetar os empréstimos bancários. Segundo os autores, a importância do capital dos bancos sobre o volume de crédito fornecido por eles é vista com ceticismo ou até questionada por alguns críticos. De acordo com Mora e Logan (2012), o argumento utilizado para se defender a irrelevância do capital dos bancos seria o fato da oferta de crédito ser determinada de forma conjunta com a demanda por crédito. Logo, se as condições econômicas estão ruins, a demanda por crédito irá contrair e a oferta somente responderia ao movimento da demanda. Dessa forma, não haveria espaço para fatores de oferta, como o capital dos bancos, afetarem o volume de crédito.

No entanto, Mora e Logan (2012) questionam esse argumento e apontam que bancos com escassez de capital possuem duas opções. A primeira é liquidar empréstimos, especialmente os mais arriscados, e ofertar menos crédito buscando elevar o seu capital para níveis seguros e reduzir seus riscos, por meio da substituição de empréstimos por ativos mais líquidos. Contudo, ao fazer isso, o banco renuncia à remuneração mais alta de ativos mais arriscados.

A segunda opção seria tentar reter uma parcela maior de seus lucros, reduzindo a distribuição de dividendos. No entanto, os autores chamam atenção que muitas vezes esse movimento é insuficiente para cobrir os empréstimos do banco. Portanto, geralmente, os bancos agem de acordo com a primeira alternativa.

Dado esse fato, Mora e Logan (2012) citam várias possíveis origens para uma escassez de capital ocorrer nos bancos. Primeiramente, os autores chamam atenção para as fricções que existem dentro do mercado financeiro para se obter financiamento externo. Problemas de informação assimétrica podem elevar os custos de forma que estes fiquem proibitivos, fazendo com que o banco seja limitado ao seu próprio capital. Os autores apontam que esses problemas informacionais podem ser ainda piores para as firmas bancárias, visto que os ativos dos bancos são mais opacos e difíceis de avaliar que os das firmas não-financeiras.

Outras origens possíveis também são citadas pelos autores. Uma regulação demasiadamente

restritiva, como por exemplo os requerimentos de capital dos Acordos de Basileia, pode causar uma escassez de capital nos bancos. Além disso, a perda de confiança por parte do público no setor bancário seria capaz de fazer com que o mercado exija um nível de capital próprio mais elevado do que a regulação demanda. Adicionalmente, empréstimos inadimplentes devido à falência da empresa tomadora também podem fazer com que os empréstimos do banco fiquem restritos pelo seu capital, visto que pode ser forçado a utilizá-lo para cobrir as perdas, caso o lucro não seja suficiente.

Por fim, Mora e Logan (2012) destacam o fato de que a própria política monetária pode causar uma escassez de capital nos bancos. Uma elevação da taxa de juros de curto prazo pode levar a um aumento do passivo e de sua remuneração média. No entanto, os ativos dos bancos possuem uma maturidade maior do que os passivos. Esse descasamento pode causar uma contração nos lucros das firmas bancárias, com a implicação de que seu capital seja reduzido, caso os lucros se tornem negativos.

Dados esses argumentos, Mora e Logan (2012) constroem um modelo VAR utilizando dados sobre os bancos britânicos. Através da análise dos resultados, os autores concluíram que os choques sobre o capital dos bancos causam mudanças no volume de crédito ofertado na mesma direção. Esse resultado também é consistente com a evidência apresentada por Adrian e Shin (2010), de que os bancos comerciais norte-americanos buscam manter a sua taxa de alavancagem fixa. Neste cenário, caso o crescimento do capital de um determinado banco se eleve, necessariamente o crescimento do volume de crédito ofertado por este também deve aumentar, para manter a taxa de alavancagem constante. Os autores também encontraram que os efeitos do capital sobre o crédito são maiores para bancos que estão demasiadamente restritos pela regulação macroprudencial.

1.3.4 Estrutura do Setor Bancário

Com relação à estrutura do setor bancário, Ennis (2001) apresenta uma análise sobre a evolução da distribuição do tamanho dos bancos estadunidenses durante o último quarto do século XX. A pesquisa do autor foi motivada por grandes mudanças regulatórias que ocorreram nos Estados Unidos, as quais retiraram importantes restrições que impediam uma concentração excessiva do setor.

Em 1975, nenhum estado norte-americano permitia que *holdings* de outros estados comprassem bancos nativos do primeiro. No universo de estados, somente 14 permitiam que os bancos abrissem filiais dentro do território regional e 12 proibiam completamente a criação de filiais. Os estados remanescentes possuíam restrições parciais que eram específicas de caso a caso. Essas restrições ao crescimento dos bancos datam desde o *Banking Act* de 1933. No entanto, o autor aponta que a partir do final dos anos 70, houve um movimento espalhado por todo o país de relaxamento dessas restrições. Finalmente, em 1994, o *Riegle-Neal Act* removeu

completamente as restrições sobre filiais em território estadunidense.

Dado esse contexto, Ennis (2001) utiliza dados do FED de Chicago sobre a distribuição de tamanho dos bancos para avaliar como essas mudanças regulatórias afetaram essa distribuição. A base de dados começa em 1976 e termina no ano 2000. O autor usa o total de ativos como uma *proxy* do tamanho dos bancos e utiliza os valores em termos reais.

Os dados demonstram uma mudança profunda na distribuição ao longo dos anos. O tamanho médio dos bancos mais do que dobrou no período, e a frequência de bancos pequenos claramente se reduziu. Ennis (2001) apresenta a série do coeficiente de Gini da distribuição dos bancos. No início do período, o índice possui o valor de 0.82 e termina com o valor de 0.90, no ano 2000. Dessa forma, a concentração de ativos também se elevou consideravelmente no setor.

Portanto, houve uma mudança significativa na distribuição do tamanho dos bancos estadunidenses no período analisado. No fim da amostra, existem relativamente menos bancos pequenos e esses são maiores do que as suas contrapartes no passado. Contudo, Ennis (2001) aponta que não se trata de um desaparecimento completo dos bancos menores devido à concorrência com bancos nacionais. Na realidade, apesar da desregulamentação, o setor bancário estadunidense continua apresentando a coexistência entre bancos grandes e nacionais com bancos menores e regionais.

O autor aponta algumas razões teóricas que poderiam explicar a persistência dos bancos de menor porte nos Estados Unidos. Em primeiro lugar, Ennis (2001) constrói um modelo teórico onde existem duas estratégias distintas para prover serviços bancários. Uma estratégia é escolher um banco regional com alto índice de adequação de capital e baixo custo operacional. A outra estratégia trata-se de um banco nacional com baixo índice de adequação de capital e alto custo operacional. O autor demonstra como ambas as estratégias podem ser eficientes e que elas coexistem em equilíbrio.

Outra razão para os dois tipos coexistirem seria a diferenciação de produto. Firms bancárias menores são capazes de fornecer produtos financeiros diferenciados para os clientes com os quais possuem um relacionamento duradouro. Devido à complexidade envolvida no monitoramento das decisões de oferta de crédito em bancos maiores, firms bancárias menores tendem a ser mais eficientes em prover esse tipo de serviço mais personalizado.

Em contrapartida, bancos maiores seriam mais eficientes em prover serviços financeiros mais homogêneos e padronizados, beneficiando-se das economias de escopo. Firms grandes muitas vezes exigem uma variedade maior de serviços financeiros e, na maioria dos casos, somente bancos de grande porte podem atender a essas demandas de forma eficiente. Sob esse ponto de vista, a heterogeneidade existente no setor bancário é uma consequência da heterogeneidade das firms que demandam serviços financeiros distintos.

Portanto, devido aos motivos apresentados, o setor bancário tende a apresentar uma coexistência entre dois tamanhos diferentes de bancos. Os que possuem maior porte atendem grandes e pequenas firms, enquanto os de menor porte atendem empresas menores e locais. Essa es-

trutura se manteve, com alterações, mesmo diante de um amplo processo de desregulamentação.

1.4 Considerações Finais

A primeira seção deste capítulo apresentou o mecanismo do acelerador financeiro em sua versão considerada *mainstream*. Em seguida, foram tecidas algumas críticas a essa versão agregada do mecanismo, as quais justificam a representação do mesmo em uma abordagem alternativa, os modelos *agent-based*, para que seja possível levar em consideração os efeitos da interação entre agentes heterogêneos em uma complexa rede de crédito.

Na segunda seção, foram apresentados sete modelos *agent-based* que focam no acelerador financeiro em si ou o utilizam para tratar de temas como política monetária e macroprudencial. Considera-se que a construção de um modelo mais completo, que seja capaz de representar o mecanismo presente nas economias reais de forma mais fidedigna, é útil, especialmente para permitir uma avaliação mais acurada sobre os efeitos da política econômica. Adicionalmente, a implementação do mecanismo em um modelo que apresente crescimento de longo prazo, possibilita verificar os efeitos de acontecimentos que ocorrem durante o ciclo econômico sobre a dinâmica de longo prazo da economia, como histerese.

Por fim, a terceira seção realizou uma revisão da literatura empírica sobre o setor bancário, buscando coletar regularidades estatísticas que serão posteriormente utilizadas para efetuar a validação empírica do modelo. Abaixo, segue uma tabela com o resumo das regularidades juntamente com as referências de cada uma:

	Regularidades	Referências
1º	Estrutura de capital dos bancos é determinada de forma similar à das firmas não-financeiras	Gropp e Heider (2010)
2º	A Taxa de alavancagem de bancos de investimento e grande bancos comerciais é pró-cíclica	Adrian e Shin (2008, 2010, 2009)
3º	A Taxa de alavancagem de bancos comerciais pequenos é acíclica	Adrian e Shin (2010) e Kalemli-Ozcan et al. (2012)
4º	Correlação entre concentração bancária e estabilidade financeira	Beck et al. (2005)
5º	Comportamento pro cíclico do crédito	Lown e Morgan (2006)
6º	Choques ao capital dos bancos afetam o volume de crédito bancário oferecido	Mora e Logan (2012)
7º	Coexistência entre grandes bancos e bancos de menor porte	Ennis (2001)
8º	Choques no crédito bancário afetam proporcionalmente mais firmas de menor porte	Leary (2009)

Tabela 1: Tabela Resumo das Regularidades Estatísticas

2 O Modelo

Como já explicado anteriormente, este trabalho realizará uma extensão do modelo Minsky-Keynes-Kalecki-Schumpeter (MKKS) presente em Pedrosa e Lang (2021), com o objetivo final de introduzir heterogeneidade no setor bancário e refinar o mecanismo do acelerador financeiro. O modelo MKKS pertence à família *agent-based stock-flow consistent* (AB-SFC), a qual é capaz de combinar elementos micro e macroeconômicos em um ambiente dinâmico e evolucionário, onde agentes heterogêneos interagem entre si. Essa interação no nível micro é capaz de gerar propriedades emergentes no nível macro que não podem ser inferidas somente observando o comportamento individual de cada agente.

Este capítulo irá apresentar a concepção teórica que fundamenta a programação do modelo. A primeira seção apresenta a estrutura, bem como as principais hipóteses, os setores institucionais que compõem o modelo e suas principais transações. A segunda seção apresenta o ordenamento dos acontecimentos, demonstrando a sequência em que o código computacional executa as transações do modelo. A terceira seção detalha o comportamento dos agentes, apresentando as equações comportamentais atreladas a cada um. Por fim, segue uma seção conclusiva.

2.1 Estrutura

Diversas características do comportamento das firmas são inspiradas na família de modelos *agent-based “Schumpeter meeting Keynes”* (K+S) (Dosi et al., 2010) e no modelo apresentado em Caiani et al. (2016). A parte do setor bancário e a forma de modelar as relações de crédito possui influência tanto de Delli Gatti et al. (2010) quanto de Riccetti et al. (2013). Por fim, existem também algumas similaridades com outras contribuições dentro do campo dos modelos *agent-based* macroeconômicos, como Possas e Dweck (2004), Riccetti et al. (2015), Dawid et al. (2019), Caiani et al. (2019) e Vianna (2021).

O modelo possui concorrência entre as firmas liderada por tentativas de aumentar a produtividade do trabalho, com o objetivo de reduzir os custos unitários, e a qualidade do produto, visando elevar a competitividade do mesmo. Essas tentativas são feitas através de atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) (Lee, 2013 e Lavoie, 2022). Em ambos os casos, essas atividades são divididas entre imitação e inovação. Na última, a firma ganha acesso a uma tecnologia ou a um produto inédito, que podem ser melhores ou piores que as contrapartes atuais. Na imitação, a firma copia uma tecnologia ou um produto de uma concorrente.

A decisão de precificação segue um procedimento de margem sobre os custos unitários, ou seja, firmas mais próximas à fronteira tecnológica possuem um custo unitário mais baixo, e as que estão mais distantes tendem a sofrer por causa da sua baixa competitividade de custo. Além disso, o *mark-up* depende da competitividade da firma, a qual é influenciada pela qualidade

relativa de seu produto e pelo seu preço relativo (que, por sua vez, depende da competitividade de custo da firma). Esses são os canais por meio dos quais as atividades de P&D afetam a concorrência e a lucratividade da firma.

A quantidade demandada do produto de cada firma é determinada pela parcela que esta detém do mercado onde atua, considerando que existe informação imperfeita. A evolução do *market-share* depende, em última instância, da competitividade da firma, a qual, como afirmado acima, depende do preço relativo e da qualidade relativa da mercadoria.

Mais especificamente, as empresas que possuem um preço relativo maior e/ou qualidade relativa menor tendem a perder *market-share*. Para combater esse movimento, elas reagem dinamicamente reduzindo o seu *mark-up* – conseqüentemente, aceitando uma redução da sua margem para contestar a perda de participação de mercado. Por outro lado, firmas próximas da fronteira tecnológica ou de qualidade tendem a ganhar *market-share*, obtendo espaço para ampliarem o seu *mark-up* e, assim, alcançar uma maior lucratividade. Essa estrutura é inspirada pela economia evolucionária (Nelson e Winter, 1982 e Silverberg et al. 1988), gerando endogenamente taxas de lucro heterogêneas.

Seguindo os modelos de safra de bens de capital, maquinários diferentes podem compor o estoque de capital de uma determinada firma. As diferenças na produtividade do trabalho distinguem as diversas safras de capital. O investimento das firmas é formado por três componentes distintos: expansão, modernização e reposição.

Assume-se que uma rotina de *payback* determina o investimento de modernização, ou seja, as firmas consideram o tempo estimado de retorno do bem de capital *vis-à-vis* o custo de adquirir uma máquina nova, quando decidem substituir ou não o seu maquinário obsoleto. Os ganhos de substituir a máquina antiga estão condicionados pelo sucesso nos processos de imitação e inovação tecnológica, pois estes ampliam a produtividade do trabalho dos bens de capital mais recentes.

O investimento de expansão é baseado no princípio do acelerador, o qual preconiza que as firmas procuram adequar a sua capacidade instalada à expectativa de demanda. Já o investimento de reposição ocorre quando a vida útil da máquina se esgota e a firma não deseja reduzir sua capacidade produtiva.

Uma outra característica do modelo é o fato de ele ser *stock-flow consistent* (Godley e Lavoie, 2012), ou seja, possui uma contabilidade integrada e coerente, a qual impõe consistência temporal entre as variáveis de fluxo e estoque. Essa estrutura rigorosa é garantida por meio de matrizes de contabilidade social construídas através do método de partilhas quádruplas de Copeland (1949). Dessa forma, é assegurado que todo fluxo de pagamento ocorrido ao longo da simulação possua uma origem e um destino definidos explicitamente no modelo. Portanto, não existem os chamados “buracos negros”, ou seja, fluxos de renda completamente *ad-hoc*, os quais surgem inadvertidamente e podem enviesar os resultados do modelo. Abaixo, a Tabela 2 demonstra a matriz de fluxo e fundos referente ao modelo:

	Households	K-Firms		C-Firms		Banks		Government	Central Bank	Σ
		Current	Capital	Current	Capital	Current	Capital			
Wages	$+W$	$-wN_k$		$-wN_c$		$-wN_b$		$-wN_g$		0
Unemployment benefit	$+UB_t$							$-UB_t$		0
Consumption	$-p_c C$			$+p_c C$						0
Investment		$+p_k I$	$-p_k I_k$		$-p_k I_c$					0
Inventory acc.		$+c_k \Delta IN V_k$	$-c_k \Delta IN V_k$	$+c_c \Delta IN V_c$	$-c_c \Delta IN V_c$					0
Taxes	$-T_H$	$-T_k$		$-T_c$		$-T_b$		$+T$		0
Profits	$+\Pi_k^d + \Pi_c^d + \Pi_b^d$	$-\Pi_k$	$+\Pi_k^u$	$-\Pi_c$	$+\Pi_c^u$	$-\Pi_b$	$+\Pi_b^u$	$+\Pi_{cb}$	$-\Pi_{cb}$	0
Interest on loans		$-i_l L_{k,-1}$		$-i_l L_{c,-1}$		$+i_l L_{-1}$				0
Interest on deposits	$+i_d D_{H,-1}$	$+i_d D_{k,-1}$		$+i_d D_{c,-1}$		$-i_d D_{-1}$				0
Interest on bills	$+i_{cb} B_{H,-1}$					$+i_{cb} B_{b,-1}$		$-i_{cb} B_{-1}$	$+i_{cb} B_{cb,-1}$	0
Interest on advances						$-i_{Ad,-1} * Ad_{-1}$			$+i_{Ad,-1} * Ad_{-1}$	0
Financial balance	$+SAV_H$		$+SAV_k$		$+SAV_c$		$+SAV_b$	$+SAV_g$	0	0
Δ Deposits	$-\Delta D_h$		$-\Delta D_k$		$-\Delta D_c$		$+\Delta D$			0
Δ Loans			$+\Delta L_k$		$+\Delta L_c$		$-\Delta L$			0
Δ Bills	$-\Delta B_h$						$-\Delta B_b$	$+\Delta B$	$-\Delta B_{cb}$	0
Δ Advances							$+\Delta Ad$		$-\Delta Ad$	0
Default on Loans			$+DEF_k$		$+DEF_c$		$-DEF$			0
Entry	$-CAP_H$		$+CAP_k$		$+CAP_c$					0
Bail out							$+BO_b$	$-BO_b$		0
Σ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 2: Matriz de Fluxo e Fundos

Como modelos *agent-based* são geralmente bastante complexos e sua dinâmica é de difícil avaliação, um procedimento comum na literatura é realizar algumas hipóteses simplificadoras para controlar o grau de complexidade do modelo. No caso deste trabalho, são feitas as seguintes hipóteses.

Assume-se uma economia fechada composta por F_c firmas de bens de consumo, F_k firmas de bens de capital, B bancos, H famílias, governo e banco central. Em cada período da simulação, os agentes interagem em cinco mercados distintos: mercado de bens de consumo; mercado de bens de capital; mercado de trabalho; mercado de crédito; e, por fim, mercado de depósitos.

Os trabalhadores compõem o setor das famílias, ofertando trabalho para as firmas, consumindo bens produzidos pelas firmas do setor F_c e acumulando riqueza na forma de depósitos e títulos públicos. Ainda que o mercado de capitais não seja explicitamente modelado, se presume que as famílias são proprietárias tanto das firmas quanto dos bancos, recebendo os dividendos distribuídos.

O setor bancário concede crédito para ambos os tipos de firma ¹⁰, recebe depósitos das firmas e das famílias, contrata trabalhadores e compra títulos públicos. Os bancos são obrigados a manter uma parcela do seu total de depósitos como reservas no banco central. Além disso, devem obter adiantamentos junto ao banco central para atingir o coeficiente mínimo de liquidez, caso não consigam com recursos próprios. O banco central é responsável por fixar a taxa básica de juros da economia, por meio da política monetária, e impor a regulação macroprudencial sobre o setor bancário.

O governo tributa as famílias, os bancos e as firmas, emprega uma parcela da população – que produz serviços públicos não mercantis –, fornece seguro-desemprego e paga juros sobre a

¹⁰Por simplicidade, não há empréstimo para financiar o consumo no modelo

dívida pública.

Por questões de simplicidade, o setor das famílias é modelado de forma totalmente agregada. Apesar disso, existe a possibilidade de as firmas serem restringidas por falta de trabalhadores, pois a população total é limitada.

2.2 Sequência de Eventos

Na grande maioria dos casos, os modelos AB-SFC são simulados numericamente por meio de programas computacionais. Em particular, visto que os códigos computacionais executam instruções sequenciais, é necessário estabelecer um ordenamento dos eventos, o que ocorre com base na lógica econômica do modelo.

Todas as transações ocorridas durante a simulação do modelo que envolvem fluxos monetários são concluídas com os agentes utilizando seus depósitos bancários. A cada período, a sequência de eventos que a simulação segue é dada pela seguinte lista:

1. Planejamento: as firmas de ambos os setores decidem qual será o nível desejado de produção e de gasto em P&D. A demanda por trabalho é determinada de acordo com a produtividade do trabalho atual da firma, que depende das safras de capital acumuladas no passado;
2. Investimento: as firmas escolhem se irão ou não repor bens de capital obsoletos e, em caso positivo, quais safras serão substituídas. Além disso, as firmas decidem se vão ou não ampliar a sua capacidade produtiva;
3. Trabalhadores e firmas acordam um salário nominal;
4. Precificação: as firmas revisam os seus *mark-up's* e definem seus preços;
5. Demanda por crédito: as firmas determinam sua demanda por crédito com base no seu gasto planejado, considerando nesse processo os ativos líquidos à disposição;
6. Oferta de crédito: os bancos recebem os pedidos das firmas e avaliam cada projeto de empréstimo. Caso seja lucrativo, o banco pode fornecer uma quantia igual ou menor do que a desejada pela firma;
7. Revisão dos planos – parte 1: as firmas recebem as propostas dos bancos e escolhem a sua linha de crédito. Caso estejam racionadas, as firmas revisam para baixo seus gastos planejados;

8. Mercado de trabalho: com os recursos em mãos, as firmas vão ao mercado de trabalho para contratar o número de funcionários desejado. Caso a quantia disponível de trabalhadores seja menor do que a demanda total de trabalho, pode haver frustração da demanda por trabalho;
9. Revisão de planos – parte 2: as firmas revisam novamente seus planos produtivos, levando em consideração agora a escassez de mão-de-obra;
10. Produção e remuneração: firmas produzem seus respectivos bens e remuneram seus trabalhadores. Os bancos pagam seus funcionários e o governo remunera os servidores públicos e transfere o seguro-desemprego para os desempregados;
11. Atividades de P&D: pesquisadores empregados pelas firmas realizam o processo de P&D. A firma pode ganhar acesso a novos produtos e/ou novas tecnologias, os quais estarão disponíveis no período seguinte;
12. Mercado de bens: a demanda por bens de consumo e bens de capital é distribuída de acordo com o *market-share* de cada firma. Estes evoluem de acordo com a competitividade da mesma;
13. As firmas incorporam novos bens de capital em sua capacidade instalada, para serem utilizados no período seguinte;
14. Serviço da dívida: juros e amortização são pagos pelas firmas para os bancos. Firms sem liquidez para honrar seus compromissos financeiros declaram falência;
15. Remuneração dos títulos públicos: o governo paga juros sobre a dívida pública para os bancos e para as famílias;
16. Firms e bancos distribuem dividendos para as famílias e pagam seus impostos;
17. Famílias pagam impostos sobre a sua renda financeira e advinda do trabalho;
18. O processo de entrada e saída de firms ocorre e bancos falidos são resgatados pelo governo.

2.3 O Comportamento dos Agentes

Essa seção detalha o comportamento de cada tipo de agentes dentro do modelo. A notação utilizada nas equações expostas a seguir será feita da seguinte maneira: variáveis das firms produtoras de bens de consumo terão o subscrito c , das firms de bens de capital subscrito k ,

e dos bancos subscrito b . Como já mencionado, o setor das famílias é agregado e, portanto, variáveis relacionadas a este setor terão subscrito H . Sempre que uma determinada variável for comum para ambos os tipos de firma, será utilizado o subscrito x . Variáveis com um traço em cima representam médias ponderadas do setor.

2.3.1 Comportamento das Firms

Decisões de Produção Cada firma x determina seu nível de produção desejado $Y_{x_t}^d$ de acordo com as suas vendas reais esperadas $S_{x_t}^e$ e mais uma quantidade de estoques desejada.

Essa quantidade de estoques é definida por meio de uma razão desejada entre estoques e vendas (ι), a qual é assumida ser constante e idêntica para todas as firmas. Os empresários desejam manter estoques para serem capazes de atender picos inesperados em sua demanda (Steindl, 1952).

$$Y_{x_t}^d = (1 + \iota) * S_{x_t}^e - INV_{x_{(t-1)}} \quad (1)$$

Onde $INV_{x_{t-1}}$ representa a quantidade de estoques que a firma possui no início do período. Por simplicidade, assume-se que as vendas esperadas são determinadas por meio de um processo adaptativo e, por isso, são iguais à demanda percebida pela firma no período anterior. Esta pode ser diferente das vendas efetivas, visto que a firma pode ter sido incapaz de atender completamente à sua demanda.

Dado o nível desejado de produção (Y_t^d), a firma encontra o seu grau de utilização da capacidade desejado ($u_{x_t}^d$) da seguinte forma:

$$u_{x_t}^d = \max \left(0, v \frac{Y_{x_t}^d}{K_{x_{t-1}}} \right) \quad (2)$$

Em que v representa a relação capital-produto, um coeficiente técnico que reflete a produtividade do capital e que é assumido ser exógeno e constante. $K_{x_{t-1}}$ é o estoque de capital que a firma possui no início do período. O grau de utilização da capacidade desejado ($u_{x_t}^d$) pode ser maior que um (fator importante para o investimento de expansão). No entanto, ele é posteriormente limitado entre zero e um para se calcular o grau de utilização da capacidade efetivo (u_{x_t}).

Estoque de Capital e Tecnologia Como em Possas e Dweck (2004), o estoque de capital das firmas é composto por diferentes safras de bens de capital, as quais possuem uma produtividade do trabalho associada. Essa heterogeneidade advém do fato de as firmas de bens de capital produzirem seus produtos utilizando a melhor tecnologia possível. Esta evolui endogenamente através do processo de inovação e imitação, os quais serão detalhados posteriormente. Portanto, como o estoque de capital é composto por diferentes safras, cada uma com uma produtividade

do trabalho própria, as firmas definem sua produtividade média do trabalho (\bar{A}_{x_t}) através de uma média ponderada de todas as safras utilizadas no período:

$$\bar{A}_{x_t} = \sum_{j=1}^{\kappa} \frac{k_{x_{t-j}} * A_{x_{t-j}}}{K_{x_{t-1}}} \quad (3)$$

Onde κ é um inteiro que representa a vida útil de cada safra, e $A_{x_{t-j}}$ é a tecnologia associada à safra. k_x representa o montante de capital utilizado. O valor de k_x depende do grau de utilização da capacidade planejado e da produtividade relativa da safra. Especificamente, as firmas utilizam preferencialmente os bens de capital mais produtivos, concentrando a eventual ociosidade nos menos produtivos.

Demanda por Trabalho A função de produção das firmas segue uma especificação de Leontief, a qual possui combinações fixas de capital físico e trabalhadores. Dada a produtividade média do trabalho (\bar{A}_{x_t}), a demanda por trabalho das firmas deriva do nível de produção desejado. Além de contratar trabalhadores para produzir bens de capital ou de consumo, as firmas contratam funcionários para trabalhar em atividades de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Considerando essas duas origens, a demanda total de trabalho da firma ($N_{x_t}^d$) é dada por:

$$N_{x_t}^d = (1 + \gamma) \frac{u_{x_t} * K_{x_{t-1}}}{v * \bar{A}_{x_t}} \quad (4)$$

Onde γ é a parcela, entre zero e um, de trabalhadores que a firma contrata para alocar em atividades de P&D, além da sua demanda para produção de bens.

Evolução da Tecnologia A forma que as atividades de P&D são modeladas é inspirada em Dosi et al. (2010) e em Dweck (2006). Uma inovação frente a versão anterior (Pedrosa e Lang, 2021), é que agora a firma possui dois tipos distintos de atividades de P&D: produtividade e qualidade. Na primeira, as firmas buscam obter uma produtividade do trabalho maior e, assim, atingir uma maior competitividade de custos. Enquanto na segunda, as empresas procuram melhorar os seus produtos para alcançar uma competitividade maior de qualidade. Dada a quantidade de trabalhadores alocados para as atividades de P&D (definida acima), as firmas os dividem entre produtividade e qualidade da seguinte forma:

$$RD_{x_{Prod}} = \chi_1 * \gamma * \frac{u_{x_t} * K_{x_{t-1}}}{v * \bar{A}_{x_t}} \quad (5)$$

$$RD_{x_{Qual}} = (1 - \chi_1) * \gamma * \frac{u_{x_t} * K_{x_{t-1}}}{v * \bar{A}_{x_t}} \quad (6)$$

Onde χ_1 é um parâmetro fixo e constante que determina quanto de trabalhadores será alocado em produtividade e qualidade. Posteriormente, as firmas os subdividem novamente entre atividades de inovação e de imitação. Portanto, elas podem tanto inovar em cada uma dessas

atividades quanto imitar uma concorrente e, assim, obter a tecnologia ou a qualidade do produto desta. A divisão entre inovação e imitação ocorre da seguinte forma:

$$IN_{x_{Prod}} = \chi_2 * RD_{x_{Prod}} \text{ e } IN_{x_{Qual}} = \chi_2 * RD_{x_{Qual}} \quad (7)$$

$$IM_{x_{Prod}} = (1 - \chi_2) * RD_{x_{Prod}} \text{ e } IM_{x_{Qual}} = (1 - \chi_2) * RD_{x_{Qual}} \quad (8)$$

Em que $IN_{x_{Prod}}$ e $IN_{x_{Qual}}$ são as quantias de trabalhadores alocados na atividade de inovação em produtividade e qualidade, respectivamente. Enquanto $IM_{x_{Prod}}$ e $IM_{x_{Qual}}$ representam as quantidades de funcionários empregados na atividade de imitação em cada tipo. Por fim, χ_2 é o parâmetro que determina a alocação entre imitação e inovação, assumido ser constante e idêntico para todas as firmas.

Ambos os subtipos de atividade de P&D funcionam da mesma maneira. A probabilidade de sucesso tanto da inovação quanto da imitação é dada por uma distribuição de Bernoulli, em que o parâmetro de sucesso é positivamente relacionado com a quantidade de trabalhadores empregados na atividade em questão. Dessa forma:

$$\phi_{x_t}^z = 1 - e^{-\zeta_{1,2} * Z_t}, \text{ com } Z_t = \{IN_x, IM_x\} \quad (9)$$

Em que $\zeta_{1,2}$ são ambos positivos. Caso a firma seja bem-sucedida em inovar, seja em produtividade ou em qualidade, a mesma ganha acesso a uma tecnologia ou a um produto que pode ser melhor ou pior do que se possui atualmente. Dessa forma, a nova produtividade e a nova qualidade podem ser descritas como:

$$A_{x_t}^{in} = A_{x_{t-1}} * (1 + c_{x_t}) \quad (10)$$

$$Q_{x_t}^{in} = Q_{x_{t-1}} * (1 + c_{x_t}) \quad (11)$$

Onde, assim como em Dosi et al. (2010), c_{x_t} é um número aleatório retirado de uma distribuição Beta redimensionada por dois parâmetros, β_{min} e β_{max} . Estes representam as oportunidades tecnológicas que existem na economia. Por exemplo, valores maiores de β_{max} implicam em um nível elevado de oportunidades tecnológicas, tornando mais provável que uma inovação gere ganhos substanciais de produtividade ou qualidade.

Caso a firma seja bem-sucedida em imitar alguma competidora, ela ganha acesso a uma tecnologia (caso seja uma imitação de produtividade $A_{x_t}^{im}$) ou produto (caso seja uma imitação de qualidade $Q_{x_t}^{im}$) da concorrente. Assim como em Dosi et al. (2010), as firmas possuem uma possibilidade maior de imitar competidoras que estejam mais próximas a ela, seja em termos de produtividade ou de qualidade. A proximidade entre as competidoras é medida pela distância euclidiana entre as tecnologias/qualidades de cada par de firmas do mesmo setor.

Tanto as tecnologias quanto os produtos adquiridos pela firma após os processos de P&D

ficam disponíveis para a mesma no período seguinte. A substituição da tecnologia ou da qualidade do produto ocorre caso o produto ou a tecnologia que a firma utiliza atualmente seja pior do que os recém-descobertos por ela.

Decisões de Investimento O investimento real possui três componentes distintos: o investimento de reposição, de modernização e de expansão. O investimento de reposição ocorre quando a firma deseja aumentar a capacidade produtiva e algum bem de capital está atingindo o fim de sua vida útil.

Já o investimento de modernização está atrelado à substituição de bens de capital devido à sua obsolescência frente a máquinas mais novas. As firmas determinam quais safras de bens de capital repor comparando o custo de reposição com o custo de implícito de manter a máquina antiga. Este se trata da baixa produtividade do trabalho que bens de capital mais antigos fornecem em comparação com os mais recentes. A depender do sucesso nas atividades de P&D mencionadas acima, as máquinas mais novas tendem a possuir uma produtividade do trabalho maior. O custo de reposição depende do preço médio esperado dos bens de capital ($\bar{P}_{k_t}^e$) da seguinte forma:

$$RI_{x_t} = \sum_{j=t-\kappa}^{t-1} a_{x_j} * k_{x_j} \quad (12)$$

$$a_{x_j} = \begin{cases} 1, & b \leq y_{x_j} = \frac{P_{k_t}^e}{c_x(A_{x_{t-j}}) - c_x^*(A_{x_{t-1}})} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (13)$$

Onde b é um parâmetro exógeno que reflete o número de períodos de *payback* que as firmas utilizam como referência, $c_x^*(A_{x_{t-1}})$ é o custo unitário da melhor tecnologia da firma, y_{x_j} se trata do número de períodos de *payback* estimado pela firma para o bem de capital j e, por fim, a_{x_j} é uma variável binária que indica se o bem de capital será substituído ou não. Se o período de *payback* estimado para um determinado bem de capital for menor que o número de referência ($b \geq y_{x_j}$), a_{x_j} é igual a um e a máquina em questão será substituída. Caso contrário, ($b < y_{x_j}$), a_{x_j} é igual a zero, indicando que o bem não será substituído. O investimento de modernização total (RI_{x_t}) é igual a soma de todos os bens de capital j que a firma decidiu repor seguindo a rotina de *payback* explicada acima. O preço médio esperado do bem de capital ($\bar{P}_{k_t}^e$) é definido por meio de um processo adaptativo, sendo igual ao preço médio do período imediatamente anterior.

Com relação ao investimento de expansão, a especificação presente no modelo segue o princípio do acelerador, conforme é incorporado nos modelos neo-kaleckianos canônicos. Mais especificamente, é utilizada a forma proposta por Amadeo (1986):

$$\frac{EI_{x_t}}{K_{x_{t-1}}} = \rho_0 + \rho_u * (u_{x_t}^d - u_n) \quad (14)$$

Em que ρ_0 é um coeficiente exógeno que representa o estado de expectativa (*animal spirits*) da firma, ρ_u é a sensibilidade do investimento a desvios entre o grau de utilização da capacidade desejado ($u_{x_t}^d$) e o seu nível normal ou de longo prazo (u_n). A intuição por trás dessa especificação é que quando a utilização da capacidade instalada atinge um determinado ponto, as firmas irão acelerar o seu investimento buscando trazer o grau de utilização da capacidade de volta para o seu nível de longo prazo (Lavoie, 2022).

Além de utilizar o princípio do acelerador para determinar o seu investimento de expansão, a firma realiza um teste para checar se este é de fato lucrativo. Essa verificação constitui de uma inovação desta versão do modelo e ocorre da seguinte forma. A firma estima o fluxo de caixa esperado, líquido de impostos, do investimento de expansão. Depois, desconta esse valor utilizando uma taxa de desconto, ou seja, se calcula o valor presente líquido do investimento. Por fim, a firma compara esse valor com o custo do investimento. Caso seja lucrativo, a firma prossegue. Caso não seja, ela não realiza investimento, a despeito do mecanismo do acelerador.

A soma do investimento de reposição com o investimento de modernização e expansão é igual ao investimento planejado total (I_x) da firma. Esse valor não necessariamente corresponde ao seu investimento efetivo, por dois motivos: (1) a firma pode enfrentar restrições de crédito; (2) se o setor produtor de bens de capital não estiver apto a entregar todo o equipamento demandado, o que ocorre quando a demanda por bens de capital supera a oferta (estoques somados à produção corrente).

Demanda por Crédito A demanda por crédito é determinada de acordo com a teoria da *pecking order* (Myers, 1984). Esta estabelece que, devido a problemas relacionados à assimetria de informação, a firma prefere se financiar com recursos próprios antes de recorrer ao financiamento externo. Seguindo essa lógica, a demanda por crédito das firmas ($NL_{x_t}^d$) é determinada pela soma entre os gastos de investimento planejados ($\bar{P}_{k_t}^e * I_{x_t}$) mais a folha salarial esperada ($w_{x_t} * N_{x_t}^d$) subtraída pelos depósitos no início do período ($D_{x_{t-1}}$):

$$NL_{x_t}^d = \max(0, \bar{P}_{k_t}^e * I_{x_t} + w_{x_t} * N_{x_t}^d - D_{x_{t-1}}) \quad (15)$$

Como na versão construída neste trabalho o setor bancário foi desagregado, se fez necessário determinar como as firmas escolhem os bancos para os quais enviam seus pedidos de crédito e como as mesmas decidem qual linha de crédito tomar frente a distintas propostas. Esse processo ocorre da seguinte maneira:

Tendo determinado a sua demanda, a firma envia seu pedido de crédito para um número ε de bancos, este é exógeno e idêntico para todas as firmas. Os bancos são selecionados para receber o pedido de crédito da firma com uma probabilidade igual ao seu *market-share* no mercado de empréstimos. Assume-se que a firma sempre consulta o banco com o qual assinou o último contrato de empréstimo. Após o processo de análise do pedido de crédito (que será detalhado mais adiante), os bancos retornam as suas propostas para as firmas.

Diante de diversas propostas de empréstimo, a firma escolhe uma através de um processo de

score. Quatro critérios são levados em consideração: quantidade de crédito oferecida (quanto maior, melhor); duração do empréstimo (quanto mais períodos, melhor); taxa de juros (quanto menor, melhor); e, por fim, fidelidade (a firma prefere tomar empréstimo no mesmo banco que lhe forneceu crédito no período anterior). Cada proposta que for a melhor em cada critério soma um ponto. No final do processo, a firma escolhe a proposta que obteve o maior *score*, ou seja, aquela que foi a melhor no maior número de critérios. Em caso de empate, a firma escolhe o banco que lhe forneceu crédito no período anterior. Caso este não esteja entre as melhores propostas, a firma sorteia uma aleatoriamente.¹¹

Mercado de Trabalho O mercado de trabalho também sofreu alterações significativas em comparação com a versão anterior (Pedrosa e Lang, 2021). Antes, o salário nominal era homogêneo e somente as firmas contratavam trabalhadores. Na presente versão, o salário nominal é específico de cada firma e, além disso, o governo e o setor bancário também empregam trabalhadores.

Começando pela determinação do salário nominal, cada firma possui um valor próprio pelo qual remunera os seus funcionários. Esse valor é reajustado a todo período de acordo com a inflação dos bens de consumo $\left(\frac{\Delta\bar{P}_{c_{t-1}}}{\bar{P}_{c_{t-2}}}\right)$ e com crescimento da produtividade no grau de utilização normal $\left(\frac{\Delta\bar{A}_{x_{t-1}}^*}{\bar{A}_{x_{t-2}}^*}\right)$:

$$w_{x_t} = w_{x_{t-1}} * \left[1 + \psi * \left(\frac{\Delta\bar{P}_{c_{t-1}}}{\bar{P}_{c_{t-2}}} + \frac{\Delta\bar{A}_{x_{t-1}}^*}{\bar{A}_{x_{t-2}}^*} \right) \right] \quad (16)$$

Onde ψ é um parâmetro fixo e idêntico para todas as firmas, que reflete o *pass-through* da inflação e da produtividade para o salário nominal (w_{x_t}). Dessa forma, a evolução dos salários é determinada tanto por fatores macroeconômicos, como a dinâmica dos preços de bens de consumo, quanto por fatores específicos da firma, como crescimento da produtividade.

A oferta total de trabalho da economia é determinada de forma exógena. Tendo esse limite superior, assume-se que o governo e o setor bancário contratam trabalhadores antes das firmas. Ambos empregam uma parcela fixa da população total, sendo n_g a parcela que o governo emprega e n_b a parcela que o setor bancário emprega. A distribuição do montante empregado pelo setor bancário entre os bancos individuais é feita através da participação que cada um possui no mercado de empréstimos. Após o governo e o setor bancário contratarem seus funcionários, sobra a quantia disponível para as firmas.

Depois das interações no mercado de crédito, a firma reajusta a sua demanda de trabalho desejada ($N_{x_t}^d$) para uma quantia que possa ser financiada com os recursos obtidos. Feito esse ajuste, a firma determina sua demanda por trabalho efetiva ($N_{x_t}^{Eff}$). Caso a demanda efetiva total (N_t^{Eff}), isto é, a soma de todas as firmas, seja menor do que a quantia disponível para ser empregada no mercado de trabalho, não existe racionamento. Caso contrário, as firmas

¹¹ Ressalta-se que a firma somente toma crédito junto a um único banco por período.

são racionadas por escassez de mão-de-obra, sendo que o racionamento é mais intenso quanto menor for o salário nominal pago pela firma.

Precificação De forma similar a Possas e Dweck (2004), as firmas determinam o seu preço desejado ($p_{x_t}^d$) de acordo com um procedimento de *mark-up*, ou seja, margem de lucro desejada ($\theta_{x_t}^d$) sobre o seu custo unitário efetivo ($\frac{w_{x_t}}{A_{x_t}}$):

$$p_{x_t}^d = \left(1 + \theta_{x_t}^d\right) * \frac{w_{x_t}}{A_{x_t}} \quad (17)$$

O custo unitário do trabalho não está sob direto controle das firmas, pois este depende dinamicamente do grau de sucesso nas atividades de P&D, da composição do capital físico das firmas e do salário nominal. Por causa disso, as firmas mudam o seu *mark-up* desejado de acordo com a sua situação mercadológica no setor onde atuam. Dessa forma, a evolução da margem desejada é dada por:

$$\theta_{x_t}^d = \theta_{x_{t-1}}^d * \left[1 - v * \left(\frac{MS_{x_{t-1}} - MS_{x_{t-2}}}{MS_{x_{t-2}}}\right)\right] \quad (18)$$

Em que v é um coeficiente exógeno entre zero e um, que mede a sensibilidade do *mark-up* desejado à evolução da participação de mercado da firma. Dessa forma, se o *market-share* da firma está aumentando, ela sobe a sua margem, visando elevar sua lucratividade. Caso contrário, a firma reduz o seu *mark-up*, procurando recuperar sua participação no mercado.

Diferentemente da versão anterior do modelo (Pedrosa e Lang, 2021) e em linha com Kalecki (1954), a firma define o seu preço efetivo por meio de uma média ponderada entre o seu preço desejado ($p_{x_t}^d$) e o preço médio do setor onde atua ($\bar{P}_{c, k_{t-1}}$), cobrado no período anterior:

$$p_{x_t} = m * p_{x_t}^d + (1 - m) * \bar{P}_{c, k_{t-1}} \quad (19)$$

Em que m é um parâmetro fixo entre zero e um, que determina o peso de cada componente na precificação da firma. Portanto, firmas próximas da fronteira tecnológica e com produtos de maior qualidade tendem a ganhar participação no mercado e obter maiores lucros, enquanto firmas mais distantes da fronteira tecnológica e com pior qualidade tendem a sofrer com a concorrência.

Distribuição da Demanda Cada setor recebe uma parcela distinta da demanda agregada. O *quantum* demandado do setor de bens de capital corresponde à soma do investimento total de todas as firmas presentes na economia (I_t), enquanto o do setor de bens de consumo é determinado pelo dispêndio das famílias (C_{H_t}) (detalhado posteriormente). Essas quantias são distribuídas para cada firma de acordo com a sua competitividade (E_{x_t}). Esta é definida da seguinte forma:

$$E_{x_t} = \frac{\frac{Q_{x_t}}{Q_{c,k_t}}}{\left(\frac{P_{x_t}}{P_{c,k_t}} * \frac{ud_{x_t}}{UD_{c,k_t}} \right)} \quad (20)$$

Portanto, em linha com a literatura evolucionária (Nelson e Winter, 1982 e Silverberg et al. 1988), quanto maior a qualidade do produto da firma frente à média do setor onde atua $\left(\frac{Q_{x_t}}{Q_{c,k_t}} \right)$, maior será a sua competitividade. Por outro lado, quanto maior for o seu preço relativo $\left(\frac{P_{x_t}}{P_{c,k_t}} \right)$ ou sua parcela da demanda não atendida $\left(\frac{ud_{x_t}}{UD_{c,k_t}} \right)$, menor será a competitividade da firma.

A competitividade média do setor (\bar{E}_{c,k_t}) é encontrada através de uma média das competitividades de cada firma, ponderada pelo *market-share* de cada uma:

$$\bar{E}_{c,k_t} = \sum_{x=1}^{F_c, F_k} E_x * MS_{x_{t-1}} \quad (21)$$

Dadas as equações (20) e (21), a participação das firmas no setor onde operam evolui de acordo com a diferença entre a competitividade individual da firma e a média do setor:

$$MS_{x_t} = MS_{x_{t-1}} * \left(1 + \chi * \frac{E_{x_t} - \bar{E}_{c,k_t}}{\bar{E}_{c,k_t}} \right) \quad (22)$$

Onde χ é um parâmetro exógeno positivo que reflete a sensibilidade do *market-share* à evolução da competitividade da firma.

Lucro das Firmas O lucro bruto da firma ($\pi_{g_{x_t}}$) é determinado pelo fluxo de caixa operacional (OCF_{x_t}), que é definido como vendas nominais menos o gasto com salários, subtraído do pagamento de juros (INT_{x_t}):

$$\pi_{g_{x_t}} = OCF_{x_t} - INT_{x_t} \quad (23)$$

Já o lucro líquido leva em consideração também a depreciação do capital físico da firma e a reavaliação do estoque de produtos que ela possui. Seguindo os procedimentos usuais de contabilidade, os estoques são reavaliados usando o custo unitário efetivo como referência:

$$\pi_{n_{x_t}} = \pi_{g_{x_t}} + c_{x_t} * INV_{x_t} - c_{x_{t-1}} * INV_{x_{t-1}} - \frac{\sum_{j=t-k}^{t-1} P_j * k_{x_j}}{\kappa} \quad (24)$$

Portanto, o lucro líquido depende: positivamente das vendas nominais; negativamente da folha salarial; negativamente do pagamento de juros; positivamente ou negativamente da reavaliação dos estoques; e, negativamente da depreciação do capital.

A firma é obrigada a pagar para o governo uma parcela fixa (τ_2) do seu lucro líquido como imposto de renda (T_{x_t}):

$$T_{x_t} = \max(\tau_2 * \pi_{n_{x_t}}, 0) \quad (25)$$

Similarmente a Reissl (2020), assume-se que a razão de pagamento de dividendos é uma função decrescente da razão entre o serviço da dívida e o fluxo de caixa operacional:

$$\eta_{x_t} = \frac{2\eta_1}{\left[1 + \exp\left(\eta_2 * \frac{DS_{x_t}}{OCF_{x_t}}\right)\right]} \quad (26)$$

Onde η_1 é o parâmetro que fornece a maior razão de pagamento de dividendos possível, η_2 é um parâmetro e DS_{x_t} representa o serviço da dívida da firma. Dessa forma, firmas que possuem mais compromissos financeiros irão distribuir uma parcela menor do seu lucro líquido pós-impostos para as famílias. O pagamento de dividendos em si, é uma parcela do lucro pós-impostos:

$$\pi_{dx_t} = \max(0, \eta_{x_t} * (\pi_{nx_t} - T_{x_t})) \quad (27)$$

2.3.2 Comportamento dos Bancos

Regulação Prudencial e Limite de Concessão de Crédito Ao longo de toda a simulação, os bancos são obrigados a estar em conformidade com o requerimento de capital exigido pelo banco central. Dessa forma, o máximo que os bancos podem emprestar em cada período é dado por:

$$NL_{b_t}^{max} = \frac{NW_{b_t}^e}{\rho_2} + LR_{b_t}^e - NL_{b_{t-1}} \quad (28)$$

Onde $NW_{b_t}^e$ é o patrimônio líquido esperado do banco, que é igual ao patrimônio líquido do período anterior mais os lucros não distribuídos do mesmo período. $LR_{b_t}^e$ representa o montante esperado de empréstimos a serem pagos pelas firmas. $NL_{b_{t-1}}$ é a quantia total que o banco já possui emprestada. Por fim, ρ_2 representa o requerimento de capital exigido pela regulação.

Oferta de Crédito Como afirmado anteriormente, o processo de interação no mercado de crédito precisou ser alterado para comportar bancos heterogêneos. As firmas enviam a sua demanda por crédito para um número finito de bancos. Após receberem os pedidos de financiamento das firmas, os bancos avaliam-nos se baseando no valor presente esperado de cada projeto. A probabilidade de *default* da firma é calculada pelos bancos da seguinte maneira:

$$pr_{x_t}^D = \frac{1}{1 + \exp\left(\varphi_1 * \frac{OCF_{x_t}^e}{DS_{x_t}} - \varphi_2 * \Lambda_{x_{t-1}}\right)} \quad (29)$$

Onde φ_1 e φ_2 são parâmetro fixos, $OCF_{x_t}^e$ é o fluxo de caixa operacional esperado da firma, assumido ser igual ao do período anterior, e Λ_{x_t} é a taxa de alavancagem da firma, a qual é igual à razão entre a dívida total e os ativos totais da firma. DS_{x_t} é o primeiro pagamento do

serviço de dívida previsto pelo projeto de empréstimo em questão. Ressalta-se que a duração dos empréstimos (λ) é definida de forma aleatória.¹² Além disso, todos os empréstimos seguem sistema de amortização constante. Dessa forma, o primeiro pagamento do projeto de empréstimo corresponde a $DS_{x_t} = (i_x + \frac{1}{\lambda}) * NL_{x_t}^d$, onde i_x é a taxa de juros cobrada pelo banco de uma firma em específico. Nesta configuração, tudo mais constante, o risco de *default* se reduz quanto maior a lucratividade e a duração do empréstimo, e aumenta quanto maior a demanda de crédito, a taxa de alavancagem e a taxa de juros.

Dada a probabilidade de *default*, taxa de juros e tempo de duração, os bancos conseguem calcular o retorno esperado do projeto de empréstimo. Levando em consideração o calendário de amortização constante e que a probabilidade de *default* é diferente de zero, pode-se demonstrar (Pedrosa e Lang, 2021) que o retorno esperado de um empréstimo é dado por:

$$L_{x_t}^r = \left\{ 1 + i_{x_t} * \left(\frac{\lambda + 1}{2} \right) - [1 + i_{x_t}] * \left[1 + \frac{1}{\lambda} + \frac{(1 - pr_{x_t}^D)^{\lambda+1} - 1}{\lambda * pr_{x_t}^D} \right] \right\} * NL_{x_t}^d \quad (30)$$

Em que $1 + i_{x_t} * \left(\frac{\lambda+1}{2} \right)$ é o total de serviço de dívida gerado pelo projeto de empréstimo, caso o contrato seja cumprido (se a probabilidade de *default* for zero, esse é o único termo que sobra dentro das chaves). O outro componente representa as perdas resultantes de uma potencial falência no período $t + 1$ até $t + \lambda$ períodos no futuro.¹³

Caso seja lucrativo, o banco em questão fornece a quantia desejada pela firma. Caso contrário, o banco reavalia o projeto buscando encontrar um volume de crédito menor, que garanta a lucratividade desejada. Se porventura o banco encontrar algum valor, ele o oferece para a firma. Senão, o banco não oferta crédito para esta firma.

As propostas dos bancos são enviadas para as firmas, e estas decidem qual linha de crédito tomar de acordo com o processo já explicado na seção anterior. O valor do empréstimo tomado é acrescentado aos depósitos da firma. Destaca-se que todo novo empréstimo entra na carteira dos bancos e, portanto, diminui a quantia que estes podem ofertar de crédito no período seguinte, visto que eles devem respeitar o requerimento de capital.

Taxa de Juros A taxa de juros cobrada pelos bancos em seus empréstimos é específica para cada firma, pois depende da quantidade de compromissos financeiros que a esta possui. O banco determina a taxa de juros de seus empréstimos da seguinte forma:

¹²A duração dos empréstimo é aleatória, mas ponderada pela situação macroeconômica e pelo sucesso competitivo do banco em questão. Dessa forma, na fase ascendente do ciclo econômico os prazos se alongam, enquanto na fase decrescente eles se encurtam. Além disso, bancos mais bem-sucedidos fornecem empréstimos com prazos mais longos e vice-versa.

¹³Destaca-se que o termo dentro das chaves multiplica a demanda por crédito da firma, logo esta deve ser maior do que um para assegurar lucratividade.

$$i_{x_t} = i_{b_t} + \mu * \frac{DS_{x_{t-1}}}{\pi_{g_{x_{t-1}}}} \quad (31)$$

Onde μ é um parâmetro que captura a aversão ao risco dos bancos enquanto definem a sua margem de lucro e i_{b_t} representa a taxa de juros base do banco.¹⁴ Dessa forma, assim como em Reissl (2020), o *spread* sobre a taxa de juros é particular a cada firma e trata-se de uma função crescente da razão entre o serviço de dívida ($DS_{x_{t-1}}$) da firma e o seu fluxo de caixa operacional.

Mercado de Depósitos Assim como o mercado de crédito, o mercado de depósitos também precisou ser reformulado para comportar bancos heterogêneos. Agora, eles competem por depósitos através da taxa que escolhem para remunerá-los. Assume-se uma heurística simples: caso a participação do banco no mercado de depósitos ($MS_{b_t}^D$) seja menor que a sua participação no mercado de empréstimos ($MS_{b_t}^L$) mais um fator de tolerância (δ), o banco reduz seu *spread* sobre os depósitos ($\theta_{b_t}^D$) por uma quantia aleatória e vice-versa. Dessa forma, o *spread* do banco sobre os depósitos dado por:

$$\theta_{b_t}^D = \begin{cases} \theta_{b_{t-1}}^D + U(0, \omega), & MS_{b_t}^L > MS_{b_t}^D + \delta \\ \theta_{b_{t-1}}^D - U(0, \omega), & MS_{b_t}^L < MS_{b_t}^D + \delta \end{cases} \quad (32)$$

Em que $U(0, \omega)$ representa um número sorteado por uma distribuição uniforme e ω é um parâmetro exógeno. Dado o *spread* sobre os depósitos, a taxa de juros pela qual o banco remunera os seus depositantes fica determinada:

$$i_{b_t}^D = i_{cb_t} * \theta_{b_t}^D \quad (33)$$

Onde i_{cb_t} é a taxa básica de juros definida pelo banco central. Ressalta-se que a remuneração dos depósitos fica sempre em um determinado intervalo. O banco nunca estabelece uma remuneração dos depósitos maior que a taxa básica de juros da economia (i_{cb}). Por outro lado, o banco não remunera os depósitos por menos do que um terço da taxa básica de juros.

As firmas escolhem ativamente o banco em que irão colocar os seus recursos. Em cada período da simulação, existe uma probabilidade fixa e paramétrica da firma trocar de banco depositante. Caso ela troque, a firma simplesmente escolhe o banco com a maior remuneração para ser seu novo parceiro. No caso do setor das famílias, como este é agregado, seu montante de depósitos é distribuído entre os bancos de acordo com a participação de cada um no mercado depósitos.¹⁵

Lucro dos Bancos Neste modelo, os bancos recebem a remuneração dos empréstimos que realizaram (INT_{b_t}) e dos títulos públicos que possuem ($i_{cb_t} * B_{b_t}$), e utilizam esses recursos

¹⁴Esta é uma taxa específica para cada banco que garante uma lucratividade mínima.

¹⁵Dessa maneira, a distribuição dos depósitos das famílias é neutra do ponto de vista da competição entre os bancos.

para pagar a remuneração dos depósitos, os juros dos adiantamentos obtidos junto ao banco central ($i_{Ad} * Ad_{b_t}$) e a sua folha de pagamento (W_{b_t}). Dessa forma, o lucro bruto dos bancos (π_{gb_t}) pode ser definido como:

$$\pi_{gb_t} = INT_{b_t} + i_{cb_t} * B_{b_t} - i_{b_t}^D * D_{b_t} - i_{Ad} * Ad_{b_t} - W_{b_t} \quad (34)$$

Tanto i_{cb_t} quanto i_{Ad} são taxas fixas determinadas pelo banco central. Como dito anteriormente, os bancos empregam uma parcela fixa da população. Assim como o governo, o salário pago pelo setor bancário aos seus funcionários é definido pelo salário nominal médio reajustado pela inflação (Veja a equação idêntica para o governo abaixo para maiores detalhes).

Assim como as firmas, os bancos são obrigados a pagar imposto de renda sobre os seus lucros. A renda tributável do banco é igual ao seu lucro bruto menos os empréstimos não pagos (DL_{b_t}), logo, a quantia paga pelo banco de imposto é dada por:

$$T_{b_t} = \tau_2 * (\pi_{gb_t} - DL_{b_t}) \quad (35)$$

Onde τ_2 é uma alíquota fixa e idêntica para todos os bancos. Após o pagamento dos impostos, os bancos remuneram seus acionistas por meio de dividendos. Diferentemente da versão anterior do modelo (Pedrosa e Lang, 2021), a razão de pagamento de dividendos não é fixa. Esta depende do requerimento de capital mais uma margem de segurança (Υ):

$$\eta_{b_t} = \frac{NW_{b_{t-1}} + \pi_{gb_t} - DL_{b_t} - (\rho_2 + \Upsilon) * NL_{b_t}}{\pi_{gb_t} - DL_{b_t} - T_{b_t}} \quad (36)$$

Caso o capital do banco não cumpra o requerimento mais a margem de segurança, não há distribuição de dividendos. Tendo determinado a razão de pagamento de dividendos, a quantia distribuída pelo banco fica definida:

$$\pi_{db_t} = \max [0, \eta_{b_t} * (\pi_{gb_t} - DL_{b_t} - T_{b_t})] \quad (37)$$

Isso posto, a evolução do patrimônio líquido do banco (NW_{b_t}) fica totalmente determinada:

$$NW_{b_t} = NW_{b_{t-1}} + (\pi_{gb_t} - T_{b_t} - \pi_{db_t}) - BL_{b_t} \quad (38)$$

Em que BL_{b_t} representa os empréstimos não pagos, sem incluir os juros.

Fechamento da Contabilidade dos Bancos Os bancos possuem um coeficiente de liquidez mínimo que consideram aceitável (ρ_4). Para atingir essa meta, os bancos podem precisar tomar adiantamentos junto ao banco central. Neste caso, os adiantamentos fecham a restrição financeira dos bancos. Caso contrário, os títulos públicos realizam essa função. Portanto, a quantia comprada de títulos públicos pelo banco é definida da seguinte maneira:

$$B_{b_t} = \begin{cases} D_{b_t} + NW_{b_t} - R_{b_t} - NL_{b_t}, & \text{caso atinja a meta de liquidez} \\ \rho_4 * D_{b_t}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (39)$$

No caso de não atingir a meta de liquidez, o banco obtém adiantamentos junto ao banco central no valor dado por:

$$Ad_{b_t} = D_{b_t} + NW_{b_t} + B_{b_t} - R_{b_t} - NL_{b_t} \quad (40)$$

2.3.3 Comportamento das Famílias

Decisões de Consumo As decisões de consumo das famílias foram inspiradas em Godley e Lavoie (2012), com algumas modificações importantes. O consumo real (C_{H_t}) depende da renda pós-tributos, da riqueza real esperada no início do período ($V_{H_{t-1}}$) e do seguro-desemprego (UB_t). Como a decisão de consumo precede a interação com as firmas, o preço usado para descontar o valor nominal é o preço médio esperado dos bens de consumo ($\bar{P}_{c_t}^e$):

$$C_{H_t} = \frac{\alpha_1 * (1 - \tau_1) * W_t + \alpha_2 * (1 - \tau_1) * (INT_{H_{t-1}} + DIV_{H_{t-1}}) + \alpha_3 * V_{H_{t-1}} + UB_t}{\bar{P}_{c_t}^e} \quad (41)$$

Onde α_1 é a propensão a consumir da renda oriunda do trabalho ($0 < \alpha_1 < 1$). α_2 é a propensão a consumir da renda advinda dos juros, remunerados pelos depósitos e títulos públicos, e dos dividendos, pagos pelos bancos e pelas firmas ($0 < \alpha_2 < 1$). α_3 é a propensão a consumir da riqueza ($0 < \alpha_3 < 1$). W_t é a massa salarial, $INT_{H_{t-1}}$ se trata do montante recebido de juros e $DIV_{H_{t-1}}$ representa a quantia recebida de dividendos.

Dinâmica da Riqueza Por simplicidade, assume-se que os ganhos de capital das famílias são iguais a zero. Dessa forma, a variação da riqueza desse setor é igual à sua poupança menos a contribuição de capital para o estabelecimento de novas firmas (Φ_t). A renda das famílias é composta de salários, dividendos, juros sobre depósitos e títulos públicos, e o seguro-desemprego. Portanto, a riqueza do setor das famílias pode ser escrita como:

$$V_{H_t} = V_{H_{t-1}} + (1 - \tau_1) * (W_t + INT_{H_t} + DIV_{H_t} + UB_t) - \bar{P}_{c_t}^e * C_{H_t} - \Phi_t \quad (42)$$

Dada a sua riqueza, as famílias então dividem o seu patrimônio entre depósitos bancários e títulos públicos. Por motivos transacionais e precaucionais, as famílias mantêm uma parcela β da sua riqueza alocada em depósitos bancários ($D_{H_t} = \beta * V_t$). Toda quantia remanescente é aplicada em títulos públicos:

$$B_{H_t} = (1 - \beta) * V_t \quad (43)$$

2.3.4 Comportamento do Governo

O governo cobra um imposto de renda sobre os rendimentos das famílias e sobre os lucros das firmas e dos bancos. As alíquotas cobradas são exógenas e fixas. Dessa forma, a receita do governo pode ser escrita como:

$$T_t = T_{H_t} + T_{c_t} + T_{k_t} + T_{b_t} \quad (44)$$

Onde T_{H_t} é o montante taxado das famílias, T_{c_t} é a quantia tributada das firmas de bens de consumo, T_{k_t} é quantidade coletada das firmas de bens de capital, e T_{b_t} são os impostos pagos pelo setor bancário.

Como mencionado anteriormente, o governo emprega uma parcela constante da população total. O salário que o governo remunera os funcionários públicos (w_{g_t}) é definido pelo salário nominal médio pago pelas firmas (\bar{W}_{t-1}) reajustado pela inflação:

$$w_{g_t} = \bar{W}_{t-1} * \left(1 + \frac{\Delta \bar{P}_{c_{t-1}}}{\bar{P}_{c_{t-2}}} \right) \quad (45)$$

O governo concede seguro-desemprego para trabalhadores que não foram contratados pelas firmas. O valor do benefício (ub_t) corresponde a uma parcela fixa (Ψ) do salário que o governo paga aos seus funcionários:

$$ub_t = \Psi * w_{g_t} \quad (46)$$

Além da quantia dispendida com salários e seguro-desemprego, o governo realiza mais dois gastos. Em primeiro lugar, ele resgata os bancos que, porventura, vierem a declarar falência. Em segundo lugar, o governo paga juros sobre o montante da dívida pública. Portanto, o déficit público (igual a quantidade de títulos públicos) pode ser expresso como:

$$B_t = (1 + i_{cb}) * B_{t-1} + W_{g_t} + UB_t + BO_t - T_t - \pi_{CB_t} \quad (47)$$

Onde i_{cb} é a taxa básica de juros, W_{g_t} é a massa salarial paga pelo governo, BO_t é a quantia usada para resgatar os bancos falidos no período, e π_{CB_t} é o lucro do banco central.

2.3.5 Comportamento do Banco Central

O banco central é encarregado de definir a taxa básica de juros ¹⁶, prover adiantamentos para o setor bancário e reter as reservas bancárias. O lucro do banco central, o qual é totalmente distribuído para o governo, pode ser definido como:

$$\pi_{CB_t} = i_{cb} * B_{CB_t} + i_{Ad} * Ad_t \quad (48)$$

2.3.6 Processo de Entrada e Saída

Diferentemente da versão anterior do modelo (Pedrosa e Lang, 2021), o processo de entrada e saída de firmas não funciona mais por meio de uma relação um para um. Antes, sempre que uma saía do mercado, outra entrava no lugar, mantendo o número de firmas constante ao longo de toda a simulação.

Tendo como inspiração Dosi et al. (2018), o processo foi alterado nesta versão do modelo. Agora, os processos de entrada e saída foram separados, permitindo que o número de firmas varie endogenamente ao longo da simulação. Como antes, as firmas saem do mercado em três situações: quando a participação no setor em que atuam se torna demasiadamente pequena; quando há falta de liquidez para honrar compromissos tributários ou financeiros; quando o patrimônio líquido se torna negativo.

Portanto, a grande mudança ocorreu no processo de entrada. O número de firmas insurgentes agora é uma parcela aleatória do número de firmas incumbentes, mas dependente da atratividade financeira do setor (MA_{c,k_t}):

$$b_{c,k_t} = F_{c,k_{t-1}} * [(1 - \vartheta) * U(x_2, \bar{x}_2) + \vartheta * MA_{c,k_t}] \quad (49)$$

Onde ϑ é um parâmetro exógeno, $F_{c,k_{t-1}}$ é o número de firmas incumbentes no setor e $U(x_2, \bar{x}_2)$ é um número sorteado de uma distribuição uniforme com os parâmetros iguais a x_2 e \bar{x}_2 . A atratividade financeira do setor depende da evolução das condições de mercado (MC) do mesmo, da seguinte forma:

$$MA_{c,k_t} = MC_{c,k_t} - MC_{c,k_{t-1}} \quad (50)$$

A atratividade financeira é limitada inferiormente por x_2 e superiormente por \bar{x}_2 . Por fim, as condições de mercado dependem da dinâmica dos ativos financeiros líquidos do setor:

$$MC_{c,k_t} = \log(D_{c,k_{t-1}}) - \log(Deb_{c,k_{t-1}}) \quad (51)$$

¹⁶Por simplicidade, a taxa básica de juros é definida de forma paramétrica. Dessa forma, ela é constante ao longo de toda a simulação.

Em que $D_{c,k_{t-1}}$ representa os depósitos bancários do setor no período anterior e $Deb_{c,k_{t-1}}$ se trata da dívida total do setor também no período anterior. Dessa forma, valores positivos da atratividade financeira implicam que o setor está menos alavancado, ou seja, os ativos estão crescendo mais rapidamente que os passivos e vice-versa. Neste caso, as firmas estarão mais inclinadas a entrar no setor e, conseqüentemente, o número de insurgentes aumentará.

Ressalta-se que a quantidade de empresas insurgentes é controlada para sempre haver um número de firmas no setor que esteja dentro de um intervalo, com limite superior e inferior. Ambos os limites são exógenos e constantes. Por fim, assume-se que o número de firmas entrantes não pode ser maior do que 5% das já estabelecidas no mercado.

2.4 Considerações Finais

Este capítulo demonstrou a concepção teórica do modelo construído neste trabalho, sua estrutura, seqüência de eventos e equações comportamentais. O objetivo era estender o modelo apresentado em Pedrosa e Lang (2021) para comportar bancos heterogêneos e refinar o mecanismo do acelerador financeiro.

As atividades de P&D foram alteradas para admitir também inovação e imitação na qualidade do produto, abrindo mais um canal por onde as atividades de P&D podem afetar a competição e a lucratividade das firmas. A decisão de precificação também foi levemente alterada, fazendo com que a firma defina o seu preço com base na média do mercado e no seu preço desejado, em linha com Kalecki (1954) e de forma similar a Possas e Dweck (2004). Ainda sobre as firmas, a distribuição da demanda do setor entre as empresas individuais foi alterada para comportar o novo setor produtor de bens de capital.

O mercado de crédito foi alterado para se adequar ao setor bancário desagregado, sendo necessário criar o processo de interação neste mercado. Este ocorre em três fases. Na primeira, as firmas enviam a sua demanda por crédito para um número finito de bancos. Na segunda, o pedido de crédito das firmas é avaliado pelos bancos e estes retornam as suas propostas de empréstimo para as empresas. Na última fase, as firmas escolhem qual linha de crédito tomar por meio de um procedimento de *score*.

Similarmente, o mercado de depósito também teve que ser alterado para comportar bancos heterogêneos. Na versão construída neste trabalho, os depósitos são remunerados e as firmas decidem ativamente em qual banco depositar seus recursos. Esta escolha é feita por meio de uma heurística simples, onde as firmas selecionam o banco que possui a maior remuneração de depósitos. Em todo período, as firmas podem trocar de banco depositante com uma probabilidade fixa.

O mercado de trabalho também foi alterado, permitindo a possibilidade de racionamento de trabalho e heterogeneidade entre os salários pagos pelas firmas. Outra mudança é o fato

do governo e os bancos também contrataram trabalhadores. O gasto público foi mudado, deixando de ser uma parcela do estoque de capital, para ser composto por: massa salarial; seguro-desemprego; remuneração da dívida pública; e resgate dos bancos falidos.

Por fim, o processo de entrada e saída foi melhorado para permitir que o número de firmas em cada setor mude endogenamente ao longo da simulação. A entrada e a saída de firmas foram separadas, com o número de insurgentes dependendo da atratividade financeira do setor em questão.

O capítulo seguinte irá apresentar o código computacional de algumas das mudanças citadas, como o mercado de crédito e de depósitos. O objetivo do próximo capítulo é esclarecer partes do código de forma didática para facilitar o entendimento e contribuir para a difusão do ferramental analítico dos modelos *agent-based stock flow consistent*.

3 Inicialização, Calibragem e Código Computacional

Os modelos AB-SFC (*Agent-Based Stock-Flow Consistent*) macroeconômicos são construídos com base na concepção de que a economia é um sistema complexo adaptativo. Esse paradigma considera a economia como um ambiente povoado por agentes heterogêneos, tais como empresas, bancos, trabalhadores, entre outros, cujas interações locais geram uma ordem coletiva, mesmo que a estrutura do sistema esteja constantemente em mudança. Nesse contexto, não existe isomorfismo entre os níveis micro e macroeconômicos, e níveis mais elevados de agregação podem levar ao surgimento de fenômenos novos, como ciclos econômicos e crescimento de longo prazo, regularidades estatísticas inéditas, como a curva de Phillips, e até mesmo novas estruturas, como mercados e instituições (Dosi e Roventini, 2019).

No entanto, essa capacidade de lidar naturalmente com a heterogeneidade de agentes e gerar endogenamente as propriedades emergentes citadas acima vem acompanhada de um custo significativo. Modelos AB-SFC são quase sempre de larga escala e exigem simulações numéricas com códigos computacionais complexos (Caiani et al., 2016). Dessa forma, é bastante comum haver uma certa dificuldade no entendimento da programação do modelo e dos passos necessários para a sua inicialização.

Dentro desse contexto, o presente capítulo busca remediar essa situação detalhando, da forma mais didática possível, os passos necessários para viabilizar as simulações numéricas do modelo apresentado anteriormente. Para tal, este capítulo se divide em quatro seções. A primeira delas apresentará a linguagem computacional em que o modelo foi escrito, destacando as suas vantagens para simular modelos *agent-based*. A segunda seção explicará o processo de calibragem e inicialização do modelo, a estrutura deste e os parâmetros necessários para simulá-lo. A seção seguinte irá elucidar as partes mais importantes do código computacional, dando foco especial para o mercado de crédito e o setor bancário, nos quais estão as principais mudanças feitas por este trabalho frente à versão anterior. O esclarecimento do código será feito tanto analisando-o diretamente quanto por meio do uso de pseudocódigos. Estes últimos configuram uma forma de se representar um código computacional usando uma combinação de linguagem natural (português, neste caso) e elementos que lembram linguagem de programação, com o objetivo de facilitar o entendimento. Por fim, segue uma seção conclusiva.

3.1 Linguagem

O modelo MKKS, tanto a sua versão anterior quanto a atual, é escrito em uma linguagem de computação chamada *Laboratory for Simulation Development* (LSD), que foi desenvolvida por Marcelo Pereira (2015) e Marco Valente (2012). Apesar de não ser amplamente conhecida como R, Python e outras linguagens, o LSD se trata de uma poderosa ferramenta para a criação

e execução de modelos de simulação. O LSD foi concebido e desenvolvido para lidar de forma automática com todos os requerimentos técnicos necessários para se executar um modelo de simulação. No entanto, o usuário ainda desfruta de uma grande liberdade para implementar qualquer modelo computacional que desejar, pois, em termos técnicos, o LSD é somente uma interface para o C++. Dessa forma, é possível usufruir dos elementos positivos do C++ (como rapidez, flexibilidade e portabilidade) de uma forma simples e intuitiva.

Um modelo feito no LSD possui três componentes distintos: seu conteúdo computacional; as equações; e, a configuração do modelo. O ambiente do gerenciador de modelos do LSD (*LSD Model Manager*, LMM) possibilita escrever as equações do modelo de forma simples, expressando as mesmas como se fossem equações em diferença convencionais. Através do uso do LMM, o qual funciona como se fosse um editor de texto para o código computacional, as equações são automaticamente compiladas e adicionadas ao programa nativo (LSD), que executará a simulação, juntamente com qualquer outro requisito que seja necessário. O resultado será mostrado no LSD, onde será possível definir a configuração do modelo (como a estrutura, condições iniciais, parâmetros etc.) e rodar as simulações. Logo, todo processo de desenvolvimento do modelo pode ser feito dentro do próprio LSD, desde a criação das equações e programação, definição de parâmetros e condições iniciais até a análise dos resultados.

Portanto, em linha com os objetivos dos desenvolvedores, os usuários do LSD podem se concentrar exclusivamente no modelo e sua concepção, sem haver a necessidade de lidar com aspectos técnicos da programação que não possuem relação com o modelo sendo construído. Além disso, os usuários de modelos já feitos no LSD podem carregar configurações pré-prontas (como valores iniciais, números de simulações etc.) e reproduzir a simulação, assim como feita pelo autor do modelo, sem necessitar de nenhum conhecimento prévio de programação. Novas configurações são feitas por meio de interfaces simples e intuitivas, de forma que mesmo usuários leigos podem utilizar modelos de simulação.

Diferentemente de linguagem vetoriais, como o R, o LSD é uma linguagem orientada por objeto. Isso significa que é possível criar objetos, como *Firms*, no qual são inseridos as equações e parâmetros referentes as firmas. Um objeto também pode conter outro, como, por exemplo, o objeto *Firms* pode ser inserido em outro de nível superior que representa o setor em que as firmas atuam. Diversas instâncias (cópias) de um determinado objeto podem ser feitas de forma rápida e intuitiva, por exemplo, é possível construir um modelo onde X firmas estão contidas em um número Y de setores. Essa característica torna o LSD uma linguagem de programação especialmente apropriada para implementar modelos *agent-based*, como o MKSS.

Por fim, outra característica importante do LSD é seu favorecimento para o desenvolvimento gradual do modelo, o que limita o espaço para ocorrerem erros. Geralmente, o ciclo para construir um modelo no LSD é o seguinte:

1. Criar um modelo com uma ou mais variáveis, mantendo todo o resto constante;
2. Escrever as equações para as variáveis iniciais;

3. Testar os resultados do modelo e corrigir possíveis erros;
4. Transformar um parâmetro em variável ou adicionar novas variáveis;
5. Escrever o código da equação da nova variável;
6. Voltar para o item 3 até todas as variáveis/equações estiverem definidas;

Esse procedimento é possível no LSD porque é relativamente simples modificar um modelo, seja criando novos elementos ou alterando os já existentes. Geralmente, este não é o caso para códigos de programação feitos por usuários menos experientes. Além disso, a interface do LSD fornece diversas formas eficazes de explorar a operação do modelo, como execução passo-a-passo, modificação de valores durante a simulação, quebras condicionais e etc.

3.2 Inicialização e Calibragem

O processo de encontrar e definir os valores iniciais de um modelo é chamado de calibragem. Este representa um problema crucial para qualquer modelo computacional, especialmente quando eles possuem uma dinâmica estocástica, dependente de trajetória e não-ergódica, como no caso de modelos *agent-based*. Devido a problemas técnicos, restrição de tempo e limites computacionais, o espaço paramétrico não é totalmente explorado, principalmente no caso de modelos macroeconômicos de larga escala. Dessa forma, os resultados desses modelos são, em geral, explorados na vizinhança do seu cenário considerado base ou inicial.

Além da importância para a exploração dos resultados gerados pelos modelos, o processo de calibragem é especialmente importante para garantir a consistência entre as variáveis de estoque e fluxo, ou seja, para torná-lo *stock-flow consistent* (Godley e Lavoie, 2012). O não cumprimento dessas normas pode ser uma fonte relevante de inconsistências lógicas e contábeis no modelo. Diante dessa importância do processo de calibragem, Caiani et al. (2016) especificaram um procedimento geral e replicável para inicializar e calibrar modelos AB-SFC.

Primeiramente, o procedimento deve definir os valores iniciais de diferentes tipos de estoques retidos por cada setor institucional, de forma que eles respeitem o princípio de partilhas quádruplas de Copeland (1949). Em segundo lugar, esses valores agregados devem ser distribuídos entre os agentes heterogêneos em cada setor institucional, caracterizando o balanço patrimonial de cada agente. No entanto, como descrito no capítulo anterior, o balanço patrimonial dos agentes é muitas vezes caracterizado pela presença de diversos estoques da mesma classe, os quais diferem em termos de quantidade, vida útil, maturidade, além de contrapartidas no passivo ou no ativo. Nesta versão do MKSS, este é o caso dos bens de capital no balanço das firmas e dos empréstimos no balanço dos bancos e das firmas. Dessa forma, a terceira tarefa desse procedimento consiste em encontrar uma estratégia para caracterizar cada estoque

em específico nessas coleções e atribuí-los aos agentes que os detém, seja como ativo ou como passivo.

Isso posto, Caiani et al. (2016) apresentam uma estratégia na forma de um passo a passo com 6 etapas:

1. Deriva-se uma versão agregada do modelo;
2. Restringe-se o modelo agregado para que este esteja no estado estacionário real associado ao crescimento nominal equilibrado, igual a uma taxa g exógena;
3. Resolve-se numericamente o modelo restrito definindo de forma exógena valores razoáveis a parâmetros para os quais existe evidência empírica disponível (como taxa de desemprego, *mark-up's*, taxas de juros, taxas de lucro etc.) ou que se deseja controlar (como coeficientes técnicos, números de agentes em cada setor, duração dos bens de capital etc.). Obtém-se os valores iniciais para cada variável de estoque e fluxo do estado estacionário agregado, assim como o valor de alguns parâmetros comportamentais, os quais são compatíveis com o estado estacionário (como propensão a consumir, nível normal de utilização da capacidade e taxas de lucro, capital inicial etc.);
4. Distribui-se o valor agregado de cada setor de forma uniforme entre os agentes pertencentes ao mesmo. Dessa forma, derivam-se os valores totais de cada tipo de estoque retido pelos agentes (como depósitos e capital físico das firmas, empréstimos totais, reservas e títulos de cada banco), e o valores passados de cada variável para serem usados nas expectativas dos agentes (como demanda passada percebida pela firma, folha salarial paga no período anterior, pagamento de juros e dividendos passados etc.);
5. Determina-se a quantia original, os valores pendentes e a vida útil dos estoques de bens duráveis. Assume-se, em cada período antes da simulação começar, que as firmas obtiveram um empréstimo e safras de capital novas para repor seu maquinário antigo e para manter a capacidade produtiva. Pressupõe-se também que o valor real desses bens de capital e empréstimos era constante. Sabendo-se a taxa constante de inflação e o calendário de amortização dos bens de capital e dos empréstimos, deriva-se o valor pendente de cada um desses estoques, de forma que a soma destes valores seja exatamente igual à quantia determinada na etapa anterior;
6. De forma a se determinar a configuração inicial da rede de interação, são aleatoriamente designados um banco para cada firma, onde esta possui um empréstimo. Esse processo deve garantir que cada banco possua o mesmo número de clientes, para haver isonomia nas condições iniciais. Similarmente, designa-se um banco para cada firma depositar seus recursos e divide-se o valor dos depósitos das famílias de forma igualitária, garantindo sempre a equidade.

O procedimento explicado acima assegura a simetria nas condições iniciais dos agentes, ou seja, parte-se de uma situação onde existe perfeita homogenia entre eles. Essa característica do procedimento é importante pois limita qualquer viés que possa ser gerado por condições iniciais assimétricas. Dessa forma, a heterogeneidade entre os agentes observada posteriormente é uma propriedade emergente do modelo, fruto dos efeitos acumulados da interação entre as regras adaptativas dos mesmos. Além disso, definindo os valores iniciais baseados no estado estacionário e nas normas de consistência de estoque e fluxo, alcança-se o objetivo triplo de limitar a arbitrariedade na determinação da dotação inicial dos agentes, restringir a quantidade de parâmetros comportamentais livres presentes na simulação do modelo e encontrar um critério de seleção para os valores de diversos outros parâmetros.

O passo a passo fornecido por Caiani et al. (2016) e explicitado acima, trata-se de uma forma bem geral de como calibrar modelos do tipo AB-SFC. No caso específico da versão do MKSS construída neste trabalho, ele é realizado através de quatro fases. Primeiramente, cria-se a versão agregada, a qual possui todas as equações presentes no modelo.

Posteriormente, se utiliza o *software* R para resolver o modelo de calibragem e por meio de grafos acíclicos dirigidos (*Directed Acyclic Graph*, DAG) encontra-se quais blocos de equações são independentes e quais são mutuamente dependentes, além da ordem de resolução das equações. Na terceira fase, cada bloco de equações simultâneas é levado para o *Wolfram Mathematica* para serem resolvidas e remover a simultaneidade. Por fim, os dados são trazidos para o ambiente do LSD, onde a estrutura do modelo é criada e os valores calibrados são distribuídos de acordo com o procedimento acima. Abaixo segue uma tabela com os principais parâmetros do modelo, o objeto que os contém e sua descrição:

Parâmetro	Objeto	Descrição	Valores Iniciais
ag_nb	Agregates	Parcela Contratada pelos Bancos	0.03
ag_ng	Agregates	Parcela Contratada pelo Governo	0.03
b_VarPhi1	Banks	Propensão a Risco dos Bancos	1
b_VarPhi2	Banks	Aversão a Risco dos Bancos	3
b_mu	Banks	Sensibilidade da Taxa de Juros ao Endividamento	0.044
b_rho4	Banks	Coefficiente Mínimo de Liquidez	0.25
cb_rho1	Central Bank	Parcela dos Depósitos Retida como Reservas	0.1
cb_rho2	Central Bank	Requerimento de Capital Regulatório	0.1
cb_BaseInterestRate	Central Bank	Taxa Básica de Juros	0.05
cb_InterestOnAdvances	Central Bank	Taxa de Juros dos Adiantamentos	0.04
f.b	Firms	Nº de Períodos de Referência para a Rotina de <i>Payback</i>	7
f_Psi1	Firms	Pass-through da Inflação e Produtividade para Salários	1
g_tau1	Government	Alíquota de Imposto sobre as Famílias	0.42
g_tau2	Government	Alíquota de Imposto sobre as Firms e os Bancos	0.2
g_varpsi	Government	Parcela do Seguro-Desemprego	0.5
h_alpha1	Households	Propensão a Consumir dos Salários	0.95
h_alpha2	Households	Propensão a Consumir dos Rendimentos Financeiros	0.3
h_alpha3	Households	Propensão a Consumir da Riqueza	0.04
h_beta	Households	Parcela da Riqueza alocada em depósitos	0.36
n_banks	Root	Nº Inicial de Bancos	10
n_cg_firms	Root	Nº Inicial de Firms de Bens de Consumo	200
n_kg_firms	Root	Nº Inicial de Firms de Bens de Capital	50
N0	Root	Tamanho da Força de Trabalho Total	100000
s_nu	Sectors	Relação Capital-Produto	0.8
s_iota	Sectors	Razão Estoque-Vendas Desejada	0.2
s_gamma0	Sectors	Parâmetro do Estado de Expectativa das Firms	0.02
s_gammaau	Sectors	Coefficiente do Acelerador (Investimento)	0.2
s_gamma	Sectors	Parcela do Trabalho Produtivo que a firma emprega em P&D	0.05
s_xi1	Sectors	Parcela de Trabalhadores Alocada em Produtividade	0.5
s_xi2	Sectors	Parcela de Trabalhadores Alocada em Inovação	0.5
s_zeta1	Sectors	Parâmetro de Capacidade de Pesquisa das Firms	2
s_zeta2	Sectors	Parâmetro de Capacidade de Pesquisa das Firms	2
s_betaMin	Sectors	Suporte para a Distribuição Beta (P&D)	-0.08
s_betaMax	Sectors	Suporte para a Distribuição Beta (P&D)	0.08
s_upsilon	Sectors	Sensibilidade do <i>Mark-up</i> ao <i>Market-share</i>	0.1
s_chi	Sectors	Parâmetro do <i>Replicator</i>	0.5
s_epsilon	Sectors	Nº de Bancos que as Firms enviam sua Demanda por Crédito	3
s_epsilon1	Sectors	Probabilidade da Firma Troca de Depositante	0.33
s_epsilon2	Sectors	Nº de Bancos que as Firms Consultam para Depositar	3

Tabela 3: Tabela de Parâmetros

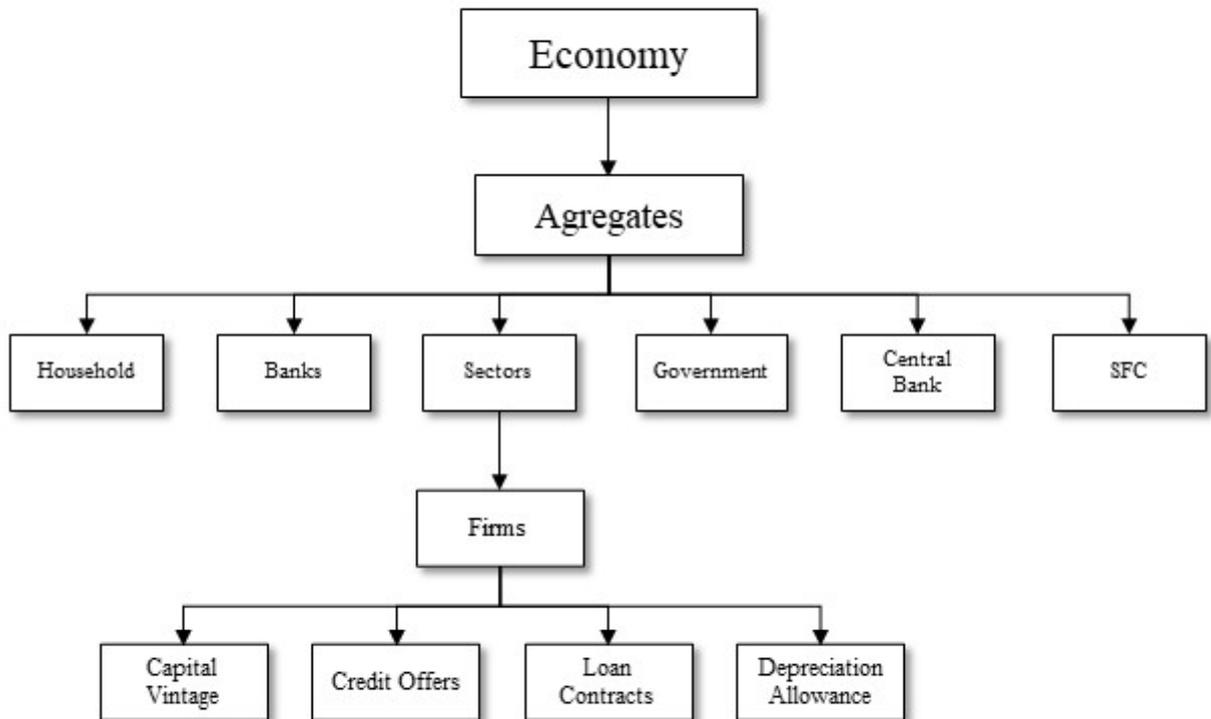


Figura 1: Estrutura do Modelo

A figura acima demonstra como o modelo está estruturado dentro do LSD. Como pode ser visto, ele possui 12 objetos organizados de forma hierárquica. Cada um destes contém equações ou parâmetros referentes aos agentes que representam. Em conformidade com o que foi exposto no capítulo anterior, a economia artificial criada é fechada e contém 5 setores institucionais: famílias, firmas, bancos, governo e banco central.

O setor das firmas é dividido em dois, por meio da criação de duas instâncias ou cópias do objeto *Sectors*, uma para as firmas de bens de capital e outra para as bens de consumo. Instâncias diferentes de um mesmo objeto possuem as mesmas equações e parâmetros. Entretanto, estes podem assumir valores distintos dependendo da instância. O setor das famílias (*Households*) e o setor bancário (*Banks*) possuem apenas uma única instância.

O objeto da economia (*Economy*) engloba todos os demais. Nele estão contidos parâmetros que auxiliam a inicialização do modelo, como número inicial de firmas e bancos. O objeto imediatamente abaixo, *Agregates*, contém equações que calculam variáveis agregadas do sistema como um todo, tais como Produto Interno Bruto (PIB), inflação, taxa de desemprego e

outras. Essas equações, via de regra, realizam somas das variáveis contidas nos objetos abaixo e, quando necessário, aplicam alguma outra operação matemática.

Embaixo do objeto *Agregates*, encontram-se os setores institucionais do modelo e um objeto auxiliar chamado *SFC*. Este último contém apenas equações que visam verificar se as normas de consistência de estoque-fluxo estão sendo respeitadas em cada período da simulação.

Com relação aos demais objetos, cada um contém equações e parâmetros necessários para simular o comportamento do agente que representam. Por exemplo, o setor das famílias (*Households*) possui equações e parâmetros que calculam o consumo, a evolução da riqueza e as aplicações desta em títulos públicos e depósitos bancários.

O objeto *Firms*, possui quatro outros objetos subordinados. Estes são objetos auxiliares que visam calcular partes específicas do comportamento das firmas. Essa divisão foi feita por motivos completamente computacionais. O objeto *Capital Vintage*, mantém o registro das safras de bens de capital da firma, sua produtividade, vida útil, preço e quantidade.

Passando para o objeto *Credit Offer*, este organiza as propostas que os bancos realizam para as firmas sempre que ocorre a interação no mercado de crédito. Logo, ele retém informações como a duração, taxa de juros e quantidade crédito de cada proposta dos bancos. É também neste objeto que se encontra a equação que define a escolha da firma sobre qual linha de crédito tomar entre as oferecidas.

Já o objeto *Loan Contracts* registra as informações de cada empréstimo que a firma possui, contendo dados como prazo restante, amortização, taxa de juros de cada empréstimo e o valor dos mesmos. Por fim, o objeto *Depreciation Allowance* mantém registro da depreciação dos bens de capital da firma.

3.3 Implementação do Código

Esta seção irá apresentar as partes mais importantes do código, demonstrando a sua implementação. Nem sempre será utilizado o código real do LSD, somente nas partes que forem significativamente distintas do padrão da literatura. Quando não for usado o código próprio do programa, será feito um pseudocódigo para fins didáticos.

3.3.1 Decisões de Produção

Conforme mencionado no capítulo anterior, a firma determina sua produção desejada com base nas vendas esperadas e em uma razão estoques-venda desejada. A empresa determina as suas vendas esperadas com base na demanda percebida do período anterior:

```

1  inicio "Vendas Esperadas"
2      int Qtd_V[-1] # Quantidade vendida no período anterior
3      int Qtd_D[-1] # Quantidade demandada no período anterior
4
5      Vendas_Ex = max(Qtd_V[-1], Qtd_D[-1]) # Máximo entre as duas
6
7      print(Vendas_Ex)
8  fim

```

Dessa forma, a quantidade de vendas que a firma espera é o maior valor entre a quantia que esta vendeu anteriormente (Qtd_V[-1]) e o quanto foi demandado da mesma (Qtd_D[-1]). Essa comparação deve ser feita porque a firma pode não ter sido capaz de atender toda a demanda recebida no período anterior.

Tendo definido as vendas esperadas, a empresa determina sua produção desejada colocando uma margem sobre a quantidade que ela espera vender (para formação de estoque) e subtraindo os estoques que ainda possui:

```

1  inicio "Produção Desejada"
2      double Vendas_Ex # Vendas Esperadas
3      int Inv[-1] # Estoques no início do período
4      const iota # Razão Estoque-Venda desejada
5
6      Prod_D = (1 + iota) * Vendas_Ex - Inv[-1] # Calculo Produção Desejada
7
8      print(Prod_D)
9  fim

```

Com a produção desejada determinada, a firma encontra o seu nível de utilização da capacidade desejado. Este depende da relação técnica capital-produto, que fornece a produtividade do capital, e do estoque de capital real:

```

1  inicio "Grau de Utilização Desejado"
2      int Prod_D # Nível de produção desejado pela firma
3      int K_real # Estoque de capital real da firma
4      const nu # relação capital-produto
5
6      u_d = nu * Prod_D / K_real # Utilização da capacidade desejada
7
8      print(u_d)
9
10 fim

```

Ressalta-se que o grau de utilização desejado pode ser maior que um neste estágio, um fator relevante na determinação o investimento de expansão. Contudo, no momento de calcular a produção efetiva, o grau de utilização é limitado entre 0 e 1.

Devido ao fato de a empresa poder possuir diversas safras de bens de capital com distintas produtividades do trabalho, a firma deve calcular sua produtividade média esperada para determinar a quantidade de trabalho demandada. Essa é uma média ponderada das produtividades das diferentes safras de capital:

```

1  inicio "Produtividade Média Esperada"
2  double u_d # Grau de utilização desejado
3  int K_real # Estoque de capital real
4  int K_total # Quantidade total de capital a ser utilizada
5  int k_qtd[1:k] # Quantidade do bem de capital especifico
6  int k_prod[1:k] # Produtividade do bem de capital especifico
7
8      Até (i até k) # Loop sobre os diversos bens de capital
9          ProdM_Ex = ProdM_Ex + k_qtd[i] / K_real * k_prod[i]
10     Fimaté
11
12     print(ProdM_Ex)
13 fim

```

Neste momento, a firma calcula sua demanda por trabalho e, posteriormente, contrata trabalhadores tanto para produção de bens quanto para as atividades de P&D. A quantidade de trabalhadores empregados na produção é determinada por meio do grau de utilização desejado, do estoque de capital real, da produtividade média e da relação capital-produto. A quantidade de trabalhadores alocados em P&D é uma fração da quantia mencionada anteriormente:

```

1  inicio "Demanda por Trabalho"
2      double u_d # Grau de utilização desejado
3      double u_l # Grau de utilização limitado
4      int K_real # Estoque de capital real
5      int ProdM_Ex # Produtividade média da Firma
6      int Nd_Prod # Demanda por trabalho produtivo
7      ind Nd_PD # Demanda por trabalho em P&D
8      const nu # Relação capital-produto
9      const gamma # Parcela da demanda para trabalho em P&D
10
11     # Limitar o grau de utilização entre zero e um
12     u = min (0, u_d)

```

```

13     u = max (u_d, 1)
14
15     Nd_Prod = u * K_real / (nu * ProdM_Ex) # Nº de trabalhadores produtivos
16     Nd_PD = gamma * Nd_Prod # Nº de trabalhadores em P&D
17     Nd = Nd_Prod + Nd_Pd # A Soma é igual a demanda por trabalho
18
19     print(Nd)
20 fim

```

As decisões de investimento da firma, como comentado anteriormente, são divididas em investimento de expansão, reposição e modernização. O primeiro é guiado pelo princípio do acelerador, ou seja, assume-se que as empresas buscam adequar a sua capacidade instalada à demanda. Dessa forma, o investimento de expansão depende do desvio entre o grau de utilização desejado e seu nível normal, do parâmetro de expectativa de demanda e de sensibilidade:

```

1  inicio "Investimento de Expansão"
2      int gamma0 # Parâmetro de expectativa de demanda
3      int gammau # Parâmetro de sensibilidade
4      int K_real # Estoque de capital real
5      int lucrativo # Checagem se o investimento é lucrativo
6      double u_d # Grau de utilização desejado
7      double u[-1] # Grau de utilização passado
8      const u_n # Grau de utilização normal
9
10
11     IE = gamma0 + gammau * (u_d - u_n) # Cres. desejado de K
12
13     If (IE < 0)
14         # Caso a firma queira reduzir a capacidade
15             Red_Capac = IE * u[-1]
16             IE = 0 # IE não pode ser negativo
17     else
18         Red_Capac = 0
19         K_d = K_real * IE # Estoque de Capital desejado
20     End If
21
22     # Função que checa se o IE é lucrativo, retorna 1 se sim
23     lucrativo = Function(IE)
24
25     if (lucrativo = 0)

```

```

26     IE = 0
27     End if
28
29     print(IE)
30 fim

```

Já o investimento de reposição e modernização depende de uma rotina de *payback*. A empresa possui um número de períodos que utiliza como referência para os seus bens de capital. Se um determinado bem não apresentar um número de períodos de *payback* maior que o de referência, a firma irá substituí-lo. Além disso, se a vida útil de um determinado bem de capital se esgotar, a firma também irá trocá-lo. O pseudocódigo abaixo faz uma representação simplificada do código real:

```

1  inicio "Investimento de Reposição"
2      int payback_ref # Nº de período de referência para o payback
3      int payback[1:k] # Nº de payback to bem de capital específico
4      int vida_util[1:k] # Nº de períodos restantes do capital
5      int k_qtd[1:k] # Quantidade do bem de capital específico
6      int k # Nº de bens de capital que a firma possui
7
8      Até (i em 1 até k)
9          # Função que retorno o nº de períodos de payback to capital
10         payback[i] = function(i)
11
12         SE(payback <= payback_Ref)
13             # Se Nº de payback for menor ou igual a referência
14             # O bem de capital é substituído
15             RI = RI + k_qtd[i]
16         SENÃO SE (vida_util = 0)
17             # Caso a vida útil tenha chegado ao fim
18             # O bem de capital é substituído
19             RI = RI + k_td[i]
20         SENÃO
21             # Caso contrário, o bem não é substituído
22             RI = RI
23
24     Fimaté
25
26     print(RI)
27 fim

```

3.3.2 Mercado de Bens

Esta subseção demonstra as principais partes do código que regulam as interações no mercado de bens. As firmas de bens de consumo vendem seus produtos para as famílias, enquanto as firmas de bens de capital fornecem o maquinário que é utilizado por ambos os tipos de empresas. Neste momento, pseudocódigos não serão utilizados. Portanto, os códigos apresentados serão exatamente como o modelo está programado.

Começando com o algoritmo que calcula a margem de lucro desejada pela firma, esta é determinada de acordo com a evolução do *market-share* da mesma no setor em que atua:

```
1 EQUATION( "f_DesiredMarkup" )
2 v[0] = VL( "f_MarketShare", 1 );
3 v[1] = VL( "f_MarketShare", 2 );
4 v[2] = V( "s_upsilon" );
5 v[3] = VL( "f_DesiredMarkup", 1 );
6
7     if ( v[1] > 0 )
8     {
9         v[4] = v[3] * ( 1 + v[2] * ( v[0] - v[1] ) / v[1] );
10    }
11    else
12    {
13        v[4] = v[3];
14    }
15
16 RESULT( v[4] )
```

Primeiramente, destaca-se a notação utilizada pelo código. O prefixo antes do nome de cada variável ou parâmetro indica qual objeto os contém. Além disso, variáveis sempre começam com letra maiúscula e parâmetros com letra minúscula. Dessa forma, “*f_DesiredMarkup*” é a variável da margem de lucro desejada e está contida no objeto *Firms*. Já “*s_upsilon*” é um parâmetro que está contido no objeto *Sectors*.

A macro “*EQUATION()*” é utilizada dentro do LSD para se calcular uma variável ou função. Ela deve possuir a estrutura demonstrada no código acima, começando com a palavra-chave “*EQUATION*”, seguida pelo nome da variável entre parênteses e aspas. Toda palavra-chave “*EQUATION*” deve ser seguida por outra palavra-chave “*RESULT*”. Esta deve ser sucedida pelo valor da variável entre parênteses que será retornado pela Macro. Dessa forma, no exemplo

acima, a macro “*EQUATION()*” está calculando o *mark-up* desejado pela firma e retornando, ao final do processo, o valor deste.

Continuando, a macro “*V()*” retorna o valor de uma variável ou parâmetro cujo nome esteja escrito entre aspas dentro dos parênteses. No exemplo acima, na linha 4, a macro está retornando o valor do parâmetro “*s_upsilon*”. A macro “*VL()*”, funciona exatamente da mesma forma que a anterior, com a diferença de que retorna o valor com o número de *lags* especificado após o nome do parâmetro ou variável. Dessa forma, na linha 2, a macro está retornando o valor do *market-share* da firma no período imediatamente anterior.

A letra minúscula *v* seguida por um número índice entre colchetes, é a forma pela qual o LSD retém temporariamente valores dentro do bloco de código de uma variável. Isso é útil porque, como o bloco de código pode se tornar bastante longo, registrar os valores neste armazém temporários diminui consideravelmente o tamanho do código e facilita a leitura e correção posterior. Cada bloco de código, ou seja, cada macro “*EQUATION*” pode ter até mil valores temporários guardados (de *v[0]* até *v[999]*).

Por fim, é explicado o operador *if*, comumente utilizado em diversas linguagens de programação. No LSD, este operador desempenha a mesma função que nas demais linguagens, servindo para condicionar a execução do código. O operador é seguido por uma condição lógica entre parênteses, a qual, caso seja verdadeira, o algoritmo executa o código entre chaves imediatamente abaixo. Caso a condição não seja verdadeira, o algoritmo continua executando o código fora das chaves ou, na situação do operador *else* estar presente, o código entre chaves imediatamente abaixo do operador *else* é executado.

Tendo elucidado as macros e o operador, é possível analisar como o código acima está operando. Primeiramente, o algoritmo resgata os valores do *market-share* da firma com uma e duas defasagens, o valor do parâmetro *upsilon* (que mede a sensibilidade do *mark-up* à dinâmica do *market-share*) e do próprio *mark-up* desejado no período passado. Caso o *market-share* da firma com duas defasagens seja positivo (checagem importante no caso da firma ter entrado a pouco tempo no mercado), a firma reajusta o seu *mark-up* desejado, aumentando se estiver ganhando participação e reduzindo se estiver perdendo. Se nenhuma das duas situações ocorrer, a firma mantém sua margem desejada constante. Ressalta-se que o valor retornado pela macro “*EQUATION*” é o que está entre parênteses depois da palavra-chave “*RESULT*”, neste caso é valor atribuído ao armazém temporário *v[4]*.

Com o *mark-up* desejado pela firma, é possível calcular o preço aspirado pela mesma. Este é determinado por meio de uma margem sobre os custos unitários do trabalho, os quais, neste modelo, são iguais ao salário nominal pago pela firma aos seus funcionários dividido pela sua produtividade média do trabalho. O código está exposto abaixo:

```
1 EQUATION( "f_DesiredPrice" )
2 v[0] = V( "f_DesiredMarkup" );
3 v[1] = V( "f_EffectiveUnitCost" );
4
```

```

5         v[2] = ( 1 + v[0] ) * v[1]
6
7 RESULT( v[2] )

```

Neste caso, o algoritmo acima resgata o valor do *mark-up* desejado (calculado pelo código mostrado anteriormente) e do custo unitário efetivo do trabalho (“*f_EffectiveUnitCost*”). Depois, na linha 5, o algoritmo calcula o preço desejado aplicando a margem aspirada pela firma sobre os custos unitários e o armazena em *v[2]*. No fim, a macro “*EQUATION*” retorna exatamente esse valor para a variável “*f_DesiredPrice*”, o preço desejado.

Agora, será demonstrado como o código do modelo calcula o preço médio do setor:

```

1 EQUATION( "s_AvgPrice" )
2 RESULT(SUM( "f_NominalSales" ) / SUM( "f_QuantitySales" ) )

```

Destaca-se que estamos lidando com uma variável que começa com prefixo *s*, logo, diferente das anteriores, ela está contida no objeto *Sectors* e não no objeto *Firms*. Além disso, desta vez não foi utilizado nenhum armazém temporário. Para equações de variáveis menores, esse passo pode ser pulado para economizar espaço, colocando diretamente a operação entre os parênteses após a palavra-chave “*RESULT*”.

Ainda no exemplo acima, é utilizada a macro “*SUM*”, a qual faz exatamente o que o nome sugere: soma as quantidades da variável cujo nome está nos parênteses após a macro. Algo importante de destacar é que, como um mesmo objeto pode ter várias instâncias ou cópias, essa macro retorna a soma das quantias de cada instância desta variável. Dessa forma, “*SUM(f_NominalSales)*”, retorna a soma das vendas nominais de todas as firmas contidas no setor, o mesmo ocorre para as vendas físicas (“*f_QuantitySales*”). Como existem dois setores no modelo, o LSD calcula o preço médio para cada setor. O preço médio do setor (“*s_AvgPrice*”) é achado através da divisão entre as vendas nominais e as físicas.

Com o preço médio do setor e o seu preço desejado, a firma determina o preço efetivo que cobrará dos seus clientes no mercado. Este é definido por meio de uma média ponderada entre o preço médio e o preço desejado. O código que realiza o cálculo está exposto abaixo:

```

1 EQUATION( "f_Price" )
2 v[0] = VLS( PARENT, "s_AvgPrice", 1 );
3 v[1] = V( "f_DesiredPrice" );
4 v[2] = V( "s_m" );
5
6         v[3] = v[2] * v[1] + ( 1 - v[2] ) * v[0];
7
8 RESULT( v[3] )

```

Neste bloco de código, se utiliza uma macro não comentada anteriormente. A macro “V()” possui outra variante, a macro “VS()”. Esta retorna o valor da variável especificada, mas de um objeto específico. A macro “VLS()” usada no código acima é uma combinação das duas variações, ou seja, ela retorna o valor da variável especificada, de um objeto determinado, na defasagem designada. No exemplo acima, ela está retornando o preço médio (“*s_AvgPrice*”), com uma defasagem, do objeto *PARENT*, que significa do objeto imediatamente superior ao que a variável sendo calculada está contida.

No caso acima, como a variável preço (“*f_Price*”) está contida no objeto *Firms*, a palavra-chave *PARENT* aponta para o objeto *Sectors*. O código precisou ser estruturado dessa forma porque existem dois setores, com preços médios distintos, e esse mesmo bloco de código é utilizado por ambos os tipos de firma. Portanto, a utilização da macro “VLS()” serve para garantir que o preço médio correto será resgatado, independentemente se a firma é produtora de bens de consumo ou de capital.

Isso posto, o código em questão calcula o preço da firma como uma média ponderada entre o preço médio do setor (“*s_AvgPrice*”) e o preço desejado pela mesma (“*f_DesiredPrice*”). O parâmetro “*s_m*” define o peso de cada componente no preço.

Tendo apresentado a precificação da firma, parte-se agora para a competitividade da mesma e a distribuição da demanda. Começando pela primeira, a competitividade da firma depende de três fatores: do seu preço relativo; da sua qualidade relativa; e da demanda não atendida. O código pode ser visto abaixo:

```

1 EQUATION( "f_Competitiveness" )
2 v[0] = V( "f_Price" );
3 v[1] = VL( "f_UnfilledDemand", 1 );
4 v[2] = VL( "f_CurrentQuality", 1 );
5 v[3] = V( "s_AvgPriceCompetitiveness" );
6 v[4] = VL( "s_AvgUnfilledDemand", 1 );
7 v[5] = V( "s_AvgQuality" );
8
9     v[6] = v[0] / v[3];
10    v[7] = v[4] == 0 ? 1 : v[1] / v[4] + 1;
11    v[8] = v[2] / v[5];
12    v[9] = v[8] / ( v[7] * v[6] );
13
14 RESULT( v[9] )

```

Vemos que o algoritmo, das linhas 2 a 7, resgata os valores das seguintes variáveis: preço da firma (“*f_Price*”); demanda não atendida no período passado (“*f_unfilledDemand, 1*”); qualidade do produto da firma no período anterior (“*f_CurrentQuality, 1*”); competitividade de preço média (“*s_AvgPriceCompetitiveness*”); demanda não atendida média no período imediatamente

anterior (“*s_AvgUnfilledDemanda*, 1”); e qualidade média do setor (“*s_AvgQuality*”). Com esses valores, o código calcula o preço relativo na linha 9, a parcela da firma na demanda não atendida total na linha 10 e a qualidade relativa na linha 11. A competitividade é calculada na linha 12 através da divisão entre a qualidade relativa e o produto entre o preço relativo e a parcela na demanda não atendida.

Na linha 10, quando o algoritmo calcula a parcela da firma na demanda não atendida total do setor, é utilizado uma notação não vista anteriormente. Esta linha representa uma condicional. Após o armazém temporário *v[7]*, vem uma condição lógica, a qual verifica se o valor contido em *v[4]* (A demanda não atendida do setor) é igual a zero. Se for, o valor registrado em *v[7]* é o que vem antes dos dois pontos e depois da interrogação, neste caso, um. Se for diferente de zero, o valor registrado será determinado pelo que vem depois dos dois pontos, neste caso, a operação demonstrada acima. Esse passo é necessário para não ocorrer divisão por zero.

Agora é possível calcular a competitividade média do setor, esta é encontrada através de uma média das competitividades de cada firma ponderada pelos seus respectivos *market-share*'s:

```

1 EQUATION( "s_AverageCompetitiveness" )
2 v[0] = 0;
3
4     CYCLE( cur, "Firms" )
5     {
6         v[1] = VS( cur, "f_Competitiveness" );
7         v[2] = VLS( cur, "f_MarketShare", 1 );
8         v[0] += v[1] * v[2];
9     }
10
11 RESULT( v[0] )

```

O código acima, utiliza uma macro que ainda não foi apresentada, a macro “*CYCLE*”. Esta é usada para passar por todas as instâncias ou cópias do objeto designado, neste caso, *Firms*. Ou seja, o código contido entre chaves imediatamente abaixo da macro “*CYCLE*” será executado para cada instância do objeto *Firms*, ou seja, para cada firma.

A palavra-chave *cur* é usada para referenciar o objeto que a macro “*CYCLE*” está processando no momento. Dessa forma, o código acima passa por todas as firmas do setor, resgatando, na linha 6 e 7, a competitividade e o *market-share*, e multiplicando ambos na linha 8.

O operador usado na linha 8, +=, não apenas registra o valor da operação subsequente no armazém *v[0]*. Este operador soma o valor já contido em *v[0]* com o valor resultante da operação seguinte, e atribui o resultado como novo valor de *v[0]*. Dessa forma, o algoritmo passa por todas as empresas, multiplicando a sua competitividade pelo seu *market-share*, e somando o produto resultante de cada firma. No final, obtém-se a competitividade média do setor (“*s_AverageCompetitiveness*”).

A evolução do *market-share* da firma depende da sua competitividade frente à média do setor onde atua e de um parâmetro exógeno de sensibilidade:

```

1 EQUATION( "f_MarketShare" )
2 v[0] = V( "f_Competitiveness" );
3 v[1] = VS( PARENT, "s_AverageCompetitiveness" );
4 v[2] = VS( PARENT, "s_chi" );
5 v[3] = VL( "f_MarketShare", 1 );
6 v[4] = v[1] != 0 ? v[3] * ( 1 + v[2] * ( v[0] - v[1] ) / v[1] ) : v[3];
7
8     if ( t > 2 && V( "f_EntryTime" ) == t - 2 )
9         v[4] = V( "f_marketShareEntry" );
10
11 RESULT( v[4] )

```

O código acima resgata os valores da competitividade da firma (“*f_Competitiveness*”), da média do setor (“*s_AverageCompetitiveness*”), do parâmetro de sensibilidade (“*s_chi*”) e do próprio *market-share* no período anterior (“*f_MarketShare, I*”). Na linha 6, é feito um condicional, caso a competitividade média do setor seja diferente de zero (*!=*), o *market-share* é ajustado, caso contrário, permanece constante. Novamente, esse passo é feito para evitar divisão por zero.

A operação na linha 6 garante que a firma ganhará participação sempre que a sua competitividade aumentar frente à média do setor e vice-versa. Na linha 8, é feita uma checagem para verificar se a firma em questão é entrante. Caso o período de entrada da mesma (“*f_EntryTime*”) seja igual a dois períodos antes do atual, o *market-share* permanece constante.

Por fim, demonstra-se como é feita a distribuição da demanda de cada setor entre as empresas. A demanda percebida pela firma é igual à quantidade demandada do setor onde atua multiplicada pelo seu respectivo *market-share*. As vendas da firma podem ser diferentes da demanda percebida pela mesma caso não seja possível atender completamente à procura. O código está exposto abaixo:

```

1 EQUATION( "f_QuantitySales" )
2     CYCLES( AGG, cur, "Sectors" ){
3         VS( cur, "s_CutExpenditures" );
4     }
5     V( "s_NearZeroMarketShare" );
6     v[0] = V( "idSector" );
7     v[1] = V( "f_MarketShare" );
8     v[2] = VS( HHS, "h_RealConsumption" );
9     v[3] = SUMS( FMK -> up, "f_ActualInvestment" );
10    v[4] = SUMS( FMC -> up, "f_ActualInvestment" );

```

```

11     v[5] = v[3] + v[4];
12
13     if( v[0] == 1 ){
14         v[6] = v[5] * v[1];
15     }
16     else {
17         v[6] = v[2] * v[1];
18     }
19     WRITE( "f_QuantityDemanded", v[6] );
20
21
22     v[7] = V( "f_Inventory" );
23     if ( v[7] < v[6] )
24     {
25         v[8] = v[6] - v[7];
26         WRITE( "f_UnfilledDemand", v[8] );
27         v[6] = v[7];
28     }
29     v[9] = v[7] - v[6];
30     WRITE( "f_Inventory", v[9] );
31
32 RESULT( v[6] )

```

O algoritmo acima realiza a distribuição da demanda do setor entre as firmas e também calcula a quantidade da demanda não realizada de cada uma. Nas linhas 2 e 3, o código força o LSD a reajustar a demanda total do setor à oferta, caso haja excesso de demanda. Na linha 5, é feito algo similar: obriga-se o modelo a registrar o *market-share* de firmas com participação no mercado próximas a zero como nulo. Isso é feito porque estas serão forçadas a sair do mercado e, portanto, não podem receber demanda neste período.

Posteriormente, o algoritmo resgata o identificador do setor (“*idSector*”), o *market-share* da firma (“*f_MarketShare*”) e o consumo (“*h_RealConsumption*”). As linhas 9 e 10 realizam a soma dos gastos em investimento das firmas de bens de capital (*FMK*) e de bens de consumo (*FMC*). Depois, na linha 11, é calculado o investimento total da economia.

Na linhas 13, a execução do código fica condicionada. Caso o identificador do setor seja igual a um (Setor de bens de capital), a demanda percebida pela firma será o investimento total multiplicado pelo seu *market-share*. Caso contrário, a demanda percebida será o gasto total em consumo multiplicado pelo seu *market-share*. A demanda percebida pela firma é registrada no armazém *v[6]*. Na linha 19, utiliza-se a macro “*WRITE*”, a qual serve para definir um valor específico para a variável designada. Neste caso, o código está registrando o valor contido em *v[6]* na variável “*f_QuantityDemanded*”.

Depois, o algoritmo verifica se a firma possui estoques suficientes para atender toda demanda que recebeu. Esse procedimento é feito a partir da linha 21. Primeiramente, resgata-se a quantidade de produtos que a firma possui em estoque (“*f_Inventory*”) e o registra no armazém *v[7]*. Depois o operador *if* verifica se a demanda percebida (*v[6]*) é maior que os estoques da firma (*v[7]*). Caso seja, a diferença é registrada no armazém *v[8]* e escrita na variável “*f_UnfilledDemand*”(A demanda não atendida pela firma) e as vendas da firma são iguais ao seu estoque de bens. Caso contrário, a firma atende toda a demanda e, na linha 30, atualiza-se o inventário da firma, retirando a quantidade vendida.

3.3.3 Mercado de Trabalho

Agora, serão apresentadas as principais partes do código que determinam a interação no mercado de trabalho. Neste modelo, a oferta total de mão de obra é fixa e determinada de forma paramétrica. As firmas, os bancos e o governo contratam trabalhadores no mercado. Começando com a determinação do salário pago pela firma, este possui sua dinâmica definida pela evolução da inflação e da produtividade:

```

1 EQUATION( "f_NominalWage" )
2 v[0] = CURRENT == 0 ? AVELS( PARENT, "f_NominalWage", 1 ) : CURRENT;
3 v[1] = VLS( AGG, "ag_Inflation", 1 );
4 v[2] = V( "f_GrowthNormalProductivity" );
5 v[3] = V( "f_Psi1" );
6
7 v[4] = v[0] * ( 1 + v[3] * ( v[1] + v[2] ) );
8
9 RESULT( v[4] )

```

No código acima é usada a macro “*AVELS*”. Esta é similar à macro “*SUM*” já apresentada. No entanto, ao invés de somar, ela realiza a média aritmética da variável especificada (“*f_NominalWage*”), com a defasagem designada, entre as instâncias do objeto abaixo do especificado. Como no lugar do objeto foi usada a palavra-chave *PARENT*, a macro está referenciando o objeto *Sectors*, que é o objeto hierarquicamente acima do qual a variável “*f_NominalWage*” está contida. Dessa forma, essa macro retorna a média aritmética entre os salários que as firmas pagam aos seus trabalhadores.

Na linha 2, é feita uma condicional. A palavra-chave *CURRENT* é utilizada para se referir ao valor atual da variável sendo calculada, neste caso “*f_NominalWage*”. Caso esse valor seja igual a zero, atribui-se um novo valor igual à média aritmética dos salários pagos pelas firmas no setor. Caso contrário, o valor permanece constante.

Em seguida, o código resgata a inflação no período anterior (“*ag_Inflation, 1*”), contida no objeto *Agregates*, o crescimento da produtividade da firma no nível normal de utilização

da capacidade (“*f_GrowthNormalProductivity*”) e o parâmetro *psi* (“*f_PsiI*”), que representa o *pass-through* da inflação e da produtividade para os salários. Na linha 7, o código calcula o salário nominal reajustando o valor passado pela inflação e pela produtividade.

O salário que o governo e os bancos pagam aos seus respectivos funcionários é determinado da exata mesma forma. Portanto, se mostrará apenas o código referente ao governo:

```

1 EQUATION( "g_NominalWage" )
2 v[0] = VLS( PARENT, "ag_AverageNominalWage", 1 );
3 v[1] = VLS( PARENT, "ag_Inflation", 1 );
4
5 RESULT( v[0] * ( 1 + v[1] ) )

```

Como pode ser visto, o algoritmo resgata os valores defasados da inflação (“*ag_Inflation, 1*”) e da média dos salário nominais pagos pelas firmas aos seus trabalhadores (“*ag_AverageNominalWage, 1*”). Ressalta-se que esta média é ponderada pelo *market-share* de cada firma, sendo diferente da presente no código anterior. Com estes dois valores, o salário pago pelo governo é determinado na linha 5, sendo a média reajustada pela inflação.

A quantidade de trabalhadores contratados pelos bancos e pelo governo também é determinada da mesma forma. Assim como antes, será demonstrado apenas o código para o governo:

```

1 EQUATION( "g_NWorkers" )
2 RESULT( VS( PARENT, "ag_ng" ) * VS( PARENT, "ag_LabourForce" ) )

```

O governo emprega uma parcela constante da população total (“*ag_LabourForce*”), determinada pelo parâmetro fixo e exógeno *ng* (“*ag_ng*”). Tanto o parâmetro quanto a oferta total da economia estão contidos no objeto *Agregates*, que está imediatamente acima do objeto *Government*. Por isso, o uso da palavra-chave *PARENT*. No caso dos bancos, o processo é exatamente o mesmo, com a diferença de que o parâmetro utilizado para definir a parcela contratada é *nb* (“*ag_nb*”).

Por fim, determina-se a quantidade de trabalhadores empregados pelas firmas. Assume-se que os bancos e o governo conseguem contratar primeiro que as firmas. Dessa forma, a quantidade disponível de trabalhadores para as firmas é igual ao total menos os contratos pelo governo e pelo setor bancário. A quantidade empregada pelas firmas depende da demanda efetiva por trabalho (que é definida após a interação no mercado de crédito) e da quantidade disponível de trabalhadores no mercado. O código que rege essa interação está exposto abaixo:

```

1 EQUATION( "ag_FirmsWorkers" )
2 v[0] = V( "g_NWorkers" );
3 v[1] = V( "ag_BanksWorkers" );
4 v[2] = V( "ag_LabourForce" );
5 v[3] = v[2] - v[1] - v[0];

```

```

6 v[4] = SUMS( FMK->up, "f_EffectiveDemandLabour" ) +
7 SUMS(FMC->up, "f_EffectiveDemandLabour");
8
9     if ( v[4] < v[3] ){
10         CYCLE( cur, "Sectors" ){
11             CYCLES( cur, cur1, "Firms" ){
12                 WRITES( cur1, "f_NumberOfWorkers",
13                     VS( cur1, "f_EffectiveDemandLabour" ) );
14             }
15         }
16     END_EQUATION( v[4] )
17 }
18 else {
19     v[5] = WHTAVES( FMK->up, "f_EffectiveDemandLabour", "f_NominalWage" );
20     v[6] = WHTAVES( FMC->up, "f_EffectiveDemandLabour", "f_NominalWage" );
21     v[7] = v[5] + v[6];
22     CYCLE( cur, "Sectors" ){
23         CYCLES( cur, cur1, "Firms" ){
24             v[8] = VS( cur1, "f_EffectiveDemandLabour" )
25             * VS( cur1, "f_NominalWage" );
26             v[9] = ( v[8] / v[7] ) * v[3];
27             WRITES( cur1, "f_NumberOfWorkers", v[9] );
28         }
29     }
30 }
31
32 RESULT( v[3] )

```

No código acima, é utilizada a macro “*WHTAVES*”. Esta é similar à macro “*AVE*” já apresentada, mas em vez de calcular uma média aritmética, calcula-se uma média ponderada pela variável especificada. Com relação à palavra-chave “*END_EQUATION*”, esta serve para encerrar a execução do bloco de código de forma precoce. Logo, tudo após essa palavra-chave não é executado.

O algoritmo resgata as quantidades de trabalhadores empregados pelo governo (“*g_NWokers*”) e pelos bancos (“*ag_BanksWorkers*”) e a quantidade total de mão-de-obra (“*ag_LabourForce*”). Na linha 5, é calculada a quantia disponível para as firmas contratarem e armazena-se em *v[3]*. Posteriormente, através da macro “*SUMS*”, somam-se as demandas efetivas por trabalho (“*f_EffectiveDemandLabour*”) de cada firma, em ambos os setores. O resultado é a demanda efetiva total das firmas, que é armazenada em *v[4]*, na linha 6.

Na linha 9, a execução do código fica condicionada pelo operador *if*. Caso a demanda efetiva

total seja menor do que a quantidade disponível de trabalhadores para as firmas, o código passa por cada empresa presente em ambos os setores, por meio das macros “CYCLE” das linhas 10 e 11, registrando na variável “*f_NumberOfWorkers*” o valor da demanda efetiva por trabalho da firma (“*f_EffectiveDemandLabour*”) através das macros “WRITES” e “VS”. Em seguida, a execução do código é encerrada com a utilização da palavra-chave “END_EQUATION”, registrando o número de trabalhadores contratados pelas firmas (“*ag_FirmsWorkers*”) igual à demanda efetiva total.

Como mencionado anteriormente, a palavra-chave *cur* é chamada de ponteiro e serve para referenciar o objeto que a macro “CYCLE” está analisando no momento. Contudo, quando duas macros “CYCLE” são encadeadas elas não podem utilizar o mesmo ponteiro. Por isso, usa-se a palavra-chave *curl* para referenciar as firmas na macro “CYCLE” interna, ou seja, a presente na linha 11.

Caso a demanda efetiva total seja maior do que a quantidade disponível para as firmas contratarem, as linhas 10 a 17 são ignoradas e o algoritmo somente executa da linha 18 em diante. Neste caso, as firmas são racionadas por escassez de trabalho e este racionamento é mais intenso quanto menor for o salário nominal pago pela firma.

Para realizar esse procedimento, o algoritmo acima calcula a demanda efetiva média do setor, ponderada pelo salário nominal de cada firma, através da macro “WHTAVES”. Em seguida, na linha 21, somam-se as médias de ambos os setores e armazena-se o resultado em *v[7]*. Depois, é feito novamente duas macros “CYCLE” encadeadas com o objetivo de passar por todas as firmas presentes no modelo. Para cada firma, se multiplica a demanda efetiva desta (“*f_EffectiveDemandLabour*”) pelo seu salário nominal (“*f_NominalWage*”). Posteriormente, se divide este resultado pela soma das médias dos setores, visando verificar o peso da firma na demanda total. Este peso ($v[8]/v[7]$) é multiplicado pela quantidade disponível de trabalhadores (*v[3]*) para então encontrar a quantidade que a firma conseguiu contratar no mercado. Esse valor é registrado na variável “*f_NumberOfWorkers*” na linha 27. Por fim, a quantidade de trabalhadores contratados pelas firmas fica igual à quantidade disponível, neste caso.

3.3.4 Mercado de Crédito

Nesta subseção, o algoritmo que regula a interação no mercado de crédito será apresentado. Esta parte se trata de uma grande mudança com relação à versão anterior do modelo, pois permite que as firmas interajam com diversos bancos ao invés de apenas um. Devido à complexidade do bloco de código, ele será separado em partes menores para facilitar entendimento. Destaca-se que o algoritmo está inserido no objeto *Agregates*.

A primeira parte do algoritmo realiza duas ações. Em primeiro lugar, ela garante que a quantidade máxima de crédito que cada banco pode oferecer em um período seja calculada. Esse movimento é feito na linha 2, quando o código chama o valor da variável “*b_MaximumCreditConcession*”.

A concessão máxima de crédito é determinada pela política macroprudencial, como foi visto no capítulo anterior. Posteriormente, o código constrói uma lista com todas as firmas que demandaram crédito no período:

```

1 CYCLE( cur, "Banks" ){
2     V( "b_MaximumCreditConcession" );
3 }
4
5 firmRank firmData;
6 firmList rank1;
7
8     CYCLE( cur, "Sectors" ){
9         CYCLES( cur, cur1, "Firms" ){
10            v[0] = VLS( cur1, "f_DebtServicingRatio", 1 );
11            v[1] = VS( cur1, "f_CreditDemand" );
12
13            if( v[1] > 0 ){
14                firmData.DebtServCFRatio = v[0];
15                firmData.firm = cur1;
16                rank1.push_back( firmData );
17            }
18        }
19    }
20
21 rank1.sort( rank_asc_DebtServCFRatio );

```

As listas são criadas nas linhas 5 e 6. Observa-se novamente o uso da macro “CYCLE” encadeada nas linhas 8 e 9. Assim como anteriormente, essa parte do código garante que o algoritmo irá passar por todas as firmas presentes em ambos os setores. Ele irá registrar os valores do serviço da dívida (“*f_DebtServicingRatio*”) e da demanda por crédito (“*f_CreditDemand*”) de cada firma nos armazéns *v[0]* e *v[1]*.

Na linha 13, verifica-se, por meio do operador *if*, se a demanda por crédito é positiva. Caso seja, são registrados na lista de firmas o serviço da dívida e o ponteiro que faz referência à firma em questão. Por fim, essa parte do código ordena a lista de firmas em ordem crescente de serviço da dívida. Essa parte é feita pois se assume que os bancos privilegiam o fornecimento de crédito para firmas financeiramente mais saudáveis, ou seja, estas são menos suscetíveis a serem racionadas por crédito.

A segunda parte do bloco de código realiza o sorteio aleatório dos bancos para os quais a firma enviará a sua demanda por crédito. Esse procedimento é feito por meio de um *loop for*,

que passa por todos os elementos da lista de firmas construída na parte anterior. Para cada firma, serão sorteados um número fixo de bancos igual ao parâmetro *epsilon* (“*s_epsilon*”):

```

1  for ( auto itr = rank1.begin( ); itr != rank1.end( ); ++itr ){
2      cur1 = itr->firm;
3      vector<object*> banks_pointers1;
4      v[0] = VS( cur1->up, "s_epsilon" );
5      for( int j = 1; j <= v[0]; j++ ){
6
7          if ( j == 1 ){
8              banks_pointers1.push_back( SHOOKS( cur1 ) );
9          }
10         else{
11             v[1] = -1;
12             while( v[1] < 0 ){
13                 cur2 = RNDDRAWL( "Banks", "b_MarketShare", 1 );
14                 v[2] = std::count( banks_pointers1.begin(),
15                                 banks_pointers1.end(), cur2 );
16                 v[1] += v[2] > 0 ? 0 : 1;
17             }
18
19             banks_pointers1.push_back( cur2 );
20
21         }
22     }

```

O *loop for* presente na linha 1 começa do primeiro elemento da lista de firmas, que, devido ao ordenamento, é a mais saudável financeiramente. Na linha 2, o código atribui um ponteiro para a firma que esta sendo analisada pelo *loop for* no momento. Um vetor de ponteiros para os bancos é construído na linha 4. Posteriormente, utiliza-se um segundo *loop for* que vai executar o código contido abaixo um número igual a *epsilon* vezes, ou seja, a quantia de bancos para os quais firma envia a sua demanda de crédito.

Dentro do segundo *loop for*, na linha 12, foi utilizado o *loop while*. Este é usado quando se deseja que o algoritmo execute uma determinada parte do código enquanto a condição lógica (entre parênteses após a palavra-chave *while*) for verdadeira. Dessa forma, registra-se o valor de menos um no armazém *v[1]*, o código dentro do *loop while* será executado consecutivamente enquanto *v[1]* conter um valor negativo.

Dentro do *loop*, observa-se o uso da macro “*RNDDRWL*”. Esta serve para sortear aleatoriamente uma instância do objeto designado (“*Banks*”, neste caso), com a probabilidade proporcional ao valor defasado em um período da variável especificada (“*b_MarketShare*”), contida

dentro do objeto apontado. O banco sorteado é registrado no ponteiro *cur2*. Posteriormente, verifica-se, nas linhas 14 e 15, se este banco já está presente na lista. Caso esteja, o valor registrado em *v[2]* será igual ao número de vezes que o banco aparece na lista.

Na linha 16, vemos uma condicional. Caso o banco apareça alguma vez na lista, o valor de *v[2]* será maior do que zero, implicando que a quantia somada ao valor de *v[1]* (-1) seja zero. Vemos que se encerra o código do *loop while*, então este verifica se a condição logica ainda vale. Como o valor de *v[1]* não foi alterado, o código dentro do *loop* é executado novamente. Dessa forma, o algoritmo sorteia bancos até encontrar um que não esteja presente na lista. Quando um banco novo é encontrado, ele é adicionado à lista na linha 19. Esse processo continua até se obter um número de bancos na lista igual ao parâmetro *epsilon*. Para estes, a firma enviará seu pedido de crédito.

A próxima parte do bloco de código passa por cada banco presente na lista feita anteriormente, calculando e registrando no objeto *CreditOffer* os termos da proposta de crédito dos bancos. Estes podem tanto conceder o volume de financiamento pedido pela firma quanto oferecer uma quantia menor que possua a lucratividade desejada. Além do volume de crédito, neste passo o banco também irá determinar a taxa de juros do empréstimo e a duração do mesmo.

```

1  i = 0;
2  CYCLES( cur1, cur2, "CreditOffer" ){
3      bnkcred = banks_pointers1[ i ];
4      WRITE_SHOOKS( cur2, bnkcred );
5      WRITES( cur2, "co_BankID", VS( bnkcred, "b_id" ) );
6
7      # bank-specific interest rate
8      WRITES( bnkcred, "b_FirmDebtServicingRatio",
9      VLS( cur1, "f_DebtServicingRatio", 1 ) );
10     v[1] = VS( bnkcred, "b_FirmInterestRate" );
11     WRITES( cur2, "co_InterestRate", v[1] );
12     WRITE_SHOOKS( bnkcred, cur2 );
13     cur3 = bnkcred;
14
15     # bank-specific duration contract
16     v[2] = VS( bnkcred, "b_Lambda" );
17     WRITES( cur2, "co_Duration", v[2] );
18
19     # bank probability of default
20     WRITES( bnkcred, "b_FirmExpectedOperatingCashFlow",
21     VS( cur1, "f_ExpectedOperatingCashFlow" ) );
22     WRITES( bnkcred, "b_FirmCreditDemand", VS( cur1, "f_CreditDemand" ) );
23     WRITES( bnkcred, "b_FirmLeverageRatio",

```

```

24     VLS( cur1, "f_LeverageRatio", 1 ) );
25     v[3] = VS( bnkcred, "b_ProbabilityOfDefault" );
26     WRITES( cur2, "co_ProbabilityOfDefault", v[3] );
27
28     # loan supply
29     v[4] = VS( bnkcred, "b_CreditSupply" );
30     WRITES( cur2, "co_CreditSupply", v[4] );
31
32     # write time of interaction
33     WRITES( cur2, "co_TimeOffer", t );
34
35     i++;
36 }
37
38
39 # run function of credit choice (firms)
40 v[5] = VS( cur1, "f_CreditChoice" );

```

Na linha 2, o algoritmo utiliza a macro “*CYCLES*”, que passa por todas as instâncias do objeto especificado (“*CreditOffer*”), contido no objeto referenciado por *cur1*. Neste caso, o objeto *Firms* (esse passo foi realizado na segunda parte do algoritmo). Ressalta-se que essa parte do código atribui um valor igual a zero para a constante *i*. Dessa forma, na linha 3, *bnkcred* é atribuído como ponteiro do primeiro banco da lista.

Posteriormente, o algoritmo salva as informações do banco referenciado por *bnkcred* na instância do objeto *CreditOffer*. Na linha 5, registra-se a identificação do banco realizando a proposta. Em seguida, nas linhas 8 até 9, é passado o valor do serviço da dívida da firma defasado em um período (“*f_DebtServicingRatio*”, 1) para o banco calcular a taxa de juros que irá cobrar em seu empréstimo. Esta é crescente com o endividamento da firma, como visto no capítulo anterior. Na linha 11, o algoritmo registra a informação da taxa de juros no objeto *CreditOffer*.

Depois, o banco determina a duração do contrato de empréstimo. Um fator importante, pois define a quantia que irá ser paga de amortização em cada período. Neste modelo, a duração dos empréstimos é determinada pela variável “*b_Lambda*”, cujo valor é aleatório. Na linha 17, novamente o algoritmo registra a informação no objeto *CreditOffer*.

Por fim, o banco calcula a probabilidade de *default* da firma utilizando o fluxo de caixa esperado (“*f_ExpectedOperationCashFlow*”), o volume de crédito demandado (“*f_CreditDemand*”) e a taxa de alavancagem defasada em um período (“*f_LeverageRatio*”, 1). Com a probabilidade de *default* calculada, o banco determina o quanto irá ofertar de crédito para firma (linha 29). Esta informação é registrada no objeto *CreditOffer* na linha 30.

No final, o algoritmo soma uma unidade ao valor da variável *i* e o código é executado novamente para a segunda instância do objeto *CreditOffer*. No entanto, como o valor de *i* aumentou em um, agora são calculados os termos da proposta do próximo banco presente na lista. Esse processo continua até a oferta de crédito de todos os bancos presentes na lista seja registrada em instâncias do objeto *CreditOffer*. Posteriormente, o algoritmo chama a equação que determina a escolha da firma entre as propostas de financiamento que recebeu.

A escolha da firma é feita através de um sistema de *score* que avalia quatro critérios distintos: volume de crédito; duração; taxa de juros; e fidelidade. Sempre que uma proposta é a melhor em um critério, ela soma um ponto. Por exemplo, a proposta com o maior volume de crédito, maior duração e menor taxa de juros possui três pontos. O último critério, fidelidade, soma mais um ponto caso o banco seja o mesmo que forneceu crédito para a firma em questão no período passado. O código que implementa essa interação está exposto abaixo:

```

1 EQUATION( "f_CreditChoice" )
2 V( "f_CreditSupply" );
3 v[0] = MAX( "co_CreditSupply" );
4 v[1] = MAX( "co_Duration" );
5 v[2] = MIN( "co_InterestRate" );
6
7 v[3] = 0;
8 CYCLE( cur, "CreditOffer" ){
9     v[3] += VS( cur, "co_CreditSupply" ) == v[0] ? 1 : 0;
10    v[3] += VS( cur, "co_Duration" ) == v[1] ? 1 : 0;
11    v[3] += VS( cur, "co_InterestRate" ) == v[2] ? 1 : 0;
12    v[3] += SHOOK == SHOOKS( cur ) ? 1 : 0;
13    WRITES( cur, "co_ProposalScore", v[3] );
14    WRITES( cur, "co_BankID", VS( SHOOKS( cur ), "b_id" ) );
15    v[3] = 0;
16    }
17
18
19    v[4] = MAX( "co_ProposalScore" );
20    v[5] = COUNT_CND( "CreditOffer", "co_ProposalScore", "==", v[4] );
21    if ( v[5] == 1 ){
22        cur = SEARCH_CND( "co_ProposalScore", v[4] );
23        WRITE_HOOK( 0, SHOOKS( cur ) );
24        WRITE_HOOK( 1, cur );
25    }
26    else{
27        v[6] = 0;

```

```

28     CYCLE( cur, "CreditOffer" )
29     {
30         v[7] = VS( cur, "co_ProposalScore" ) == v[4] ? 1 : 0 ;
31         v[6] += VS( cur, "co_ProposalScore" ) == v[4]
32         && SHOOK == SHOOKS( cur ) ? 1 : 0;
33         WRITES( cur, "co_ProbabilityDraw", v[7] / v[5] );
34     }
35     if( v[6] == 0 ){
36         cur = RNDDRAW( "CreditOffer", "co_ProbabilityDraw" );
37         WRITE_HOOK( 0, SHOOKS( cur ) );
38         WRITE_HOOK( 1, cur );
39
40     } else {
41         WRITE_HOOK( 0, SHOOK );
42         cur = SEARCH_CND( "co_BankID", VS( SHOOK, "b_id" ) );
43         WRITE_HOOK( 1, cur );
44     }
45 }
46 WRITE( "f_CreditSupply", VS( cur, "co_CreditSupply" ) );
47
48 RESULT( VS( cur, "co_CreditSupply" ) )

```

Como pode ser visto, nas linhas 3 a 5, registram-se nos armazéns qual o melhor valor de cada critério. Isso é feito por meio das macros “MAX” e “MIN”, que calculam o maior e o menor valor da variável especificada entre parênteses, dentre as instâncias do objeto que as contém (neste caso, *CreditOffer*). Em seguida, atribui-se o valor zero para o armazém *v[3]*, para posteriormente passar por cada proposta de crédito (instâncias do objeto “*CreditOffer*”) por meio da macro “CYCLE”.

Dentro da macro “CYCLE”, as linhas 9 a 12 verificam se a proposta de crédito sendo analisada (referenciada pelo ponteiro *cur*) possui os melhores valores para cada critério. Como pode ser visto pelos condicionais, caso a proposta possua o melhor valor, soma-se um a *v[3]*. Caso contrário, soma-se zero. No final, escreve-se o valor de *v[3]* na variável de score da proposta (“*co_ProposalScore*”) e torna-se o valor do armazém igual a zero novamente para repetir o processo com a próxima proposta de crédito.

A linha 19 registra o score máximo que foi obtido dentre as propostas em *v[4]*. Na linha seguinte, utiliza-se a macro “COUNT_CND” para verificar quantas vezes o score máximo aparece entre as propostas. Caso seja apenas uma vez, o código segue para a linha 22 onde se usa a macro “SEARCH_CND” para retornar qual proposta obteve o score máximo. Nas linhas 23 e 24, cria-se um ponteiro para essa proposta com a macro “WRITE_HOOK”.

Caso o score máximo apareça mais de uma vez entre as propostas, significa que houve

um empate. Nesta situação, a firma escolhe a proposta do banco que lhe forneceu crédito no período anterior, ou seja, prioriza o quarto critério. Se este banco não estiver entre as melhores propostas, a firma escolhe uma delas aleatoriamente.

Na linha 28, utiliza-se a macro “CYCLE” para passar pelas propostas de crédito novamente. Na linha 30, é verificado se a proposta possui o score máximo. Em caso positivo, $v[7]$ recebe valor um. Caso contrário, valor zero. A linha 31 realiza uma condicional para avaliar se o banco com a proposta de maior score é o mesmo que forneceu crédito para a firma no período anterior. Se for, $v[6]$ assume valor um. Senão, o valor de $v[6]$ é zero. Na linha 33, calcula-se a probabilidade da proposta ser escolhida pela firma (todas possuem a mesma chance) e se registra na variável “*co_ProbabilityDraw*”.

Caso o valor de $v[6]$ seja igual a zero, ou seja, o banco que forneceu crédito no período anterior não está entre as melhores propostas, escolhe-se uma aleatoriamente por meio da macro “RNDDRAW”. Caso seja igual a um, a proposta deste banco é selecionada. Em ambos os casos, cria-se um ponteiro que faz referência à proposta escolhida pela firma. Por fim, o algoritmo registra o volume de crédito da proposta selecionada (“*co_CreditSupply*”) na variável de oferta crédito da firma (“*f_CreditSupply*”).

O código de escolha da firma retorna o ponteiro que faz referência à proposta selecionada. Este é utilizado na última parte do algoritmo para se reduzir da concessão total de crédito do banco escolhido o novo empréstimo.

```

1 v[6] = VS( HOOKS( cur1, 0 ), "b_MaxFunds" );
2
3 WRITES( HOOKS( cur1, 0 ), "b_MaxFunds", v[6] - v[5] );
4 cur5 = HOOKS( cur1, 0 );
5 v[7] = v[6] - v[5];
6 }
7
8 RESULT( CURRENT )

```

3.3.5 Mercado de Depósitos

Neste momento, serão apresentadas as mudanças realizadas no mercado de depósitos. A primeira novidade é que agora os bancos pagam juros sobre os recursos depositados. Essa remuneração é feita por meio de um procedimento de *mark-up* sobre a taxa básica de juros. Essa margem é reajustada de acordo com a evolução do *market-share* do banco no mercado de depósitos e de empréstimos.

```

1 EQUATION( "b_InterestOnDeposits" )
2     v[1] = VS( CBK, "cb_BaseInterestRate" );

```

```

3      v[2] = VL( "b_DepositSpread", 1 );
4      v[3] = VL( "b_LoanMarketShare", 1 );
5      v[4] = V( "b_varepsilon" );
6      v[5] = V( "b_ToleranceLoanShare" );
7      v[6] = v[2];
8      v[7] = VL( "b_DepositsShare", 1 );
9
10     if( v[3] > v[7] + v[5] ){
11         v[6] = v[2] + uniform( 0, v[4] );
12     }
13     else if ( v[3] < v[7] + v[5] ){
14         v[6] = v[2] - uniform( 0, v[4] );
15     }
16
17     v[8] = v[1] * v[6];
18     v[8] = min( v[8], v[1] );
19     v[8] = max( v[8], v[1] / 3 );
20     v[6] = v[8] / v[1];
21     WRITE( "b_DepositSpread", v[6] );
22
23     RESULT( v[8] )

```

Entre as linhas 2 e 8, o algoritmo resgata os valores das variáveis e dos parâmetros necessários. A linha 10 introduz uma condicional, por meio do operador *if*. Caso o *market-share* do banco no mercado de empréstimos (“*b_LoanMarketShare*, 1) seja maior que o seu *market-share* no mercado de depósitos (“*b_DepositsShare*”, 1) mais uma margem de tolerância (“*b_ToleranceLoanShare*”), o banco reduz o seu spread (“*b_DepositSpread*”, 1) por um valor retirado de uma distribuição uniforme, com parâmetros 0 e *varepsilon*. Caso contrário, o banco aumenta o seu *spread* também por um valor aleatório retirado da mesma distribuição.

O restante do algoritmo limita a taxa de juros dos depósitos por meio das funções *min* e *max*. O banco nunca remunera seus depósitos acima da taxa básica de juros (“*cb_BaseInterestRate*”) e nem abaixo de um terço da mesma.

Por fim, demonstra-se o código que rege como as firmas escolhem o banco onde depositam os seus recursos. Somente as firmas interagem neste mercado, pois o setor das famílias é agregado. Dessa forma, os depósitos do setor das famílias são distribuídos entre os bancos de acordo com *market-share* dos mesmos no mercado de depósitos. Contudo, as firmas possuem uma probabilidade *epsilon1* de trocarem de banco depositante a cada período. Caso a firma decida trocar, ela simplesmente escolhe o banco que possui a maior taxa de remuneração.

```

1 EQUATION( "f_DepositsBankChoice" )

```

```

2      V( "f_DebtServicing" );
3      v[0] = VS( PARENT, "s_epsilon1" );
4      v[1] = binomial( v[0], 1 );
5
6      if( HOOK( 2 ) == NULL ){
7          cur = RNDDRAW_FAIRS( AGG, "Banks" );
8          WRITE_HOOK( 2, cur );
9          WRITE( "f_SupplierDepositsID", VS( HOOK( 2), "b_id" ) );
10     }
11
12     if( v[1] ){
13         v[2] = VS( PARENT, "s_epsilon2" );
14         v[3] = v[2] - 1;
15         v[4] = VS( HOOK( 2 ), "b_InterestOnDeposits" );
16
17         for( i = 1 ; i <= v[3] ; i ++ ){
18             cur = RNDDRAWLS( AGG, "Banks", "b_MarketShare", 1 );
19             v[5] = VS( cur, "b_InterestOnDeposits" );
20
21             if( v[5] > v[4] ){
22                 WRITE_HOOK( 2, cur );
23                 WRITE( "f_SupplierDepositsID", VS( HOOK(2), "b_id" );
24                 v[4] = v[5];
25             }
26         }
27     }
28
29     v[6] = VS( HOOK( 2 ), "b_FirmsDeposits" );
30     WRITES( HOOK( 2 ), "b_FirmsDeposits", v[6] + V( "f_Deposits" ) );
31     v[7] = VS( PARENT, "s_Deposits" );
32     WRITES( PARENT, "s_Deposits", v[7] + V( "f_Deposits" ) );
33
34     RESULT( VS( HOOK(2), "b_id" ) )
35

```

O código acima demonstra como o raciocínio exposto no parágrafo anterior foi implementado. Primeiramente, assegura-se que o serviço da dívida da firma (“*f_DebtServicing*”) foi calculado antes desta poder escolher um banco depositante. Depois, retira-se um valor de uma distribuição binomial com parâmetro igual a *epsilon1*.

O código presente nas linhas 6 a 10, verifica se a firma já possui um banco onde deposita os

seus recursos. Caso não possua, utiliza-se a macro “*RNDDRAW_FAIRS*” para retirar um banco aleatório. Esta macro funciona da mesma forma que a já apresentada “*RNDDRAW*”, mas sorteia uma instância com todas possuindo a mesma probabilidade de serem escolhidas. Em seguida, o algoritmo aloca o banco selecionado como detentor dos depósitos da firma.

Em caso de um sucesso retornado pela binomial, o código dentro do operador *if* é executado. Primeiramente, resgata-se o valor do parâmetro *s_epsilon2*, que indica quantos bancos a firma consulta. Nas linhas seguintes, reduz-se um deste valor, pois assume-se que o parceiro atual da firma já é consultado. Na linha 15, registra-se em *v[4]* a taxa de juros que o parceiro atual remunera os depósitos da firma.

Em seguida, é utilizado um *loop for* que executará o código contido por *epsilon2* menos um vezes. Por meio da macro “*RNDDAWLS*”, sorteia-se um banco aleatório com a probabilidade igual ao seu *market-share* no período anterior. Registra-se um ponteiro *cur* referenciando o banco sorteado. Na linha 19, a taxa de juros que o banco sorteado remunera os seus depósitos armazenada em *v[5]*.

Na linha 21, o operador *if* condiciona o código. Caso a taxa de juros do banco sorteado seja maior que a do parceiro atual, o algoritmo registra o banco sorteado como novo parceiro da firma por meio das macros “*WRITE_HOOK*” e “*WRITE*”. O processo continua até se verificar todos os bancos consultados pela firma.

Por fim, o algoritmo registra nos depósitos do banco escolhido, os recursos da sua nova parceira. Depois atualiza-se a variável dos depósitos do setor (“*s_Deposits*”). Por fim, o algoritmo retorna o identificador do banco escolhido como depositante da firma.

3.4 Considerações Finais

Este capítulo demonstrou os passos necessários para viabilizar as simulações numéricas do modelo construído neste trabalho. Na primeira seção, foi apresentada a linguagem de programação na qual o modelo foi escrito, procurando destacar as vantagens desta para simular modelos *agent-based*. Na segunda seção, explicou-se o processo de calibragem, tanto o procedimento geral contido em Caiani et al. (2016) quanto a forma mais específica utilizada para esta versão do MKKS. Além disso, a segunda seção mostrou a estrutura do modelo e os parâmetros necessários para simulá-lo.

Por fim, a última seção apresentou códigos computacionais próprios do LSD e estilizados por meio de pseudo-códigos para elucidar como os principais avanços frente à versão anterior foram programados. Ao longo de todo o capítulo, buscou-se ser o mais didático possível para contribuir com a difusão dos modelos *agent-based stock-flow consistent*.

Conclusão

Este trabalho buscou construir e apresentar uma versão estendida do modelo presente em Pedrosa e Lang (2021), a qual fosse capaz de modelar o acelerador financeiro de forma mais rica. O objetivo era permitir a criação de uma rede de crédito entre bancos e firmas heterogêneas, na qual fosse possível a formação de uma estrutura de dívida das firmas composta por empréstimos com taxa de juros diferentes, maturidades distintas e de credores variados.

Para tanto, o primeiro capítulo apresentou o mecanismo do acelerador e criticou a visão considerada *mainstream* sobre o mesmo. Em seguida, realizou-se uma revisão da literatura *agent-based* sobre o mecanismo e que o utiliza como ferramenta para analisar questões relacionadas à política monetária e macroprudencial. Procurou-se justificar perante a literatura, por meio de críticas à implementação do mecanismo, que um modelo mais completo seria capaz de incorporar *feedbacks* não levados em consideração pelos modelos apresentados no capítulo e, por isso, um novo modelo seria capaz de gerar resultados novos e relevantes, em particular no que diz respeito aos impactos das políticas econômicas.

O segundo capítulo mostrou a concepção teórica do modelo, buscando destacar os pontos onde o mesmo difere da sua versão anterior. Por fim, o último capítulo apresentou a linguagem computacional na qual o código do modelo foi escrito, explicou o processo de inicialização e calibragem, bem como a estrutura de objetos do modelo, e, por fim, mostrou partes selecionadas do código computacional, visando demonstrar os avanços que já foram feitos para, posteriormente, simular o modelo numericamente. Além disso, buscou-se expor de forma didática o processo de implementação computacional do modelo, já que essa costuma ser a parte mais desafiadora na criação de modelos *agent-based*. Nesse sentido, espera-se que o presente trabalho possa auxiliar na difusão do ferramental.

Para o futuro, pretende-se realizar simulações numéricas e, posteriormente, avaliar os resultados gerados, com o intuito de verificar as propriedades do modelo. Serão utilizadas as regularidades empíricas apresentadas no capítulo um para avaliar se o modelo é capaz de reproduzi-las. Além disso, pretende-se utilizar o modelo para testar cenários alternativos, como configuração com um banco único, com o objetivo de analisar os efeitos que a heterogeneidade no setor bancário causa sobre a fragilidade financeira da economia artificial. Essa análise será feita utilizando como referencial teórico Hyman Minsky (1977, 1982), criador de uma taxonomia própria para classificar as firmas de acordo com a sua fragilidade financeira. O aumento ou decréscimo da solidez financeira da economia será verificado por meio da mudança na proporção de firmas *Hedge*, *Especulativas* e *Ponzi*.

O modelo apresentado por este trabalho também poderia ser ainda mais enriquecido no futuro, por meio da introdução de uma política monetária ativa (fazendo o banco central fixar a taxa básica de juros por meio de uma regra de Taylor, por exemplo) e do refinamento dos canais de transmissão desta (como a introdução do mercado interbancário). Com essas mudanças, o

modelo seria capaz de realizar experimentos no espírito de Popoyan et al. (2017), analisando diferentes tipos de regras monetárias e regulação macroprudencial. Testes com cenários diversos poderiam fornecer *insights* sobre qual combinação de política fornece melhor desempenho macroeconômico.

Referências

- ADRIAN, T.; SHIN, H. S. *Liquidity, Monetary policy and Financial Cycles*. [S.l.], 2008.
- ADRIAN, T.; SHIN, H. S. Money, liquidity, and monetary policy. *American Economic Review*, v. 99(2), p. 600–605, 2009.
- ADRIAN, T.; SHIN, H. S. Liquidity and leverage. *J Financ Intermed*, v. 19, p. 418–437, 2010.
- ALEXANDRE, M.; LIMA, G. T.; RICCETTI, L. The financial network channel of monetary policy transmission: an agent-based model. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, v. 18, p. 533–571, 2023.
- ALLEN, F.; GALE, D. *Comparing Financial Systems*. [S.l.]: MIT Press, 2000.
- ALLEN, F.; GALE, D. Competition and financial stability. *Journal of Money, Credit, and Banking*, v. 36(3 Pt.2), p. 433–480, 2004.
- AMADEO, E. Notes on capacity utilization, distribution and accumulation. *Contrib Polit Econ*, v. 5(1), p. 83–94, 1986.
- AOKI, K.; PROUDMAN, J.; VLIEGHE, G. House prices, consumption, and monetary policy: a financial accelerator approach. *Journal of Financial Intermediation*, v. 13(4), p. 414–435, 2004.
- ASHRAF, Q.; GERSHMAN, B.; HOWITT, P. *Banks, market organization, and macroeconomic performance: an agent-based computational analysis*. [S.l.], 2011.
- BECK, T.; DEMIRGÜÇ-KUNT, A.; LEVINE, R. Bank concentration, competition and crises: First results. *Jornal of Banking and Finance*, v. 30, p. 1581–1603, 2005.
- BERNANKE, B.; GERTLER, M. Agency costs, net worth and business fluctuations. *American Economic Review*, v. 79, p. 14–31, 1989.
- BERNANKE, B.; GERTLER, M. Financial fragility and economic performance. *Quarterly Journal of Economics*, v. 105, p. 87–114, 1990.
- BERNANKE, B.; GERTLER, M.; GILCHRIST, S. The financial accelerator in a quantitative business cycle framework. In: TAYLOR, J.; WOODFORD, M. (Ed.). *Handbook of Macroeconomics*. Amsterdam: North-Holland, 1999. p. 1341–1393.
- BOTTA, A. et al. Inequality and finance in a rent economy. *Journal of Economic Behavior and Organization*, v. 183, p. 998–1029, 2021.
- BOYD, J. H.; NICOLÓ, G. The theory of bank risk taking and competition revisited. *The Journal of Finance*, v. 60(3), p. 1329–1343, 2005.
- CAIANI, A. et al. Agent based-stock flow consistent macroeconomics: Towards a benchmark model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, v. 69, p. 375–408, 2016.
- CAIANI, A.; RUSSO, A.; GALLEGATI, M. Does inequality hamper innovation and growth? an ab-sfcanalysis. *J Evol Econ*, v. 29(1), p. 177–228, 2019.

- COLANDER, D. et al. Beyond dsge models:toward an empirically based macroeconomics. *American Economic Review*, v. 98, p. 236–240, 2008.
- COPELAND, M. A. Social accounting for moneyflows. *The Accounting Review*, v. 24(3), p. 254–264, 1949.
- DAWID, H. et al. Macroeconomics with heterogeneous agentmodels: fostering transparency, reproducibility and replication. *J Evol Econ*, v. 29(1), p. 467–538, 2019.
- DOSI, G. et al. Income distribution, credit and fiscal policies in an agent-based keynesian model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, v. 37(8), p. 1598–1625, 2013.
- DOSI, G.; FAGIOLO, G.; ROVENTINI, A. Schumpeter meeting keynes: A policyfriendly model of endogenous growth and business cycles. *Journal of Economic Dynamics and Control*, v. 34(9), p. 1748–1767, 2010.
- DOSI, G. et al. Causes and consequences of hysteresis:aggregate demand, productivity, andemployment. *Industrial and Corporate Change*, v. 27(6), p. 1015–1044, 2018.
- DOSI, G.; ROVENTINI, A. More is different... and complex! the case for agent-basedmacroeconomics. *Journal of EvolutionaryEconomics*, v. 29(1), p. 1–37, 2019.
- DWECK, E. *Uma análise da interação micro-macro com base em um modelo dinâmico multissetorial de simulação*. Tese (Doutorado), 2006.
- ENNIS, H. M. On the size distribution of banks. *Federal Reserve Bank of Richmond Economic Quartely*, v. 87/4, 2001.
- FAGIOLO, G.; ROVENTINI, A. Macroeconomic policy in dsge and agent-based models redux: New developments and challenges ahead. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, v. 20(1), 2017.
- FRANK, M.; GOYAL, V. Trade-off and pecking order theories of debt. In: BE, E. (Ed.). *Handbook of Corporate Finance*. Amsterdam: Elsevier, 2008. vol2, p. 135–202.
- FRANK, M.; GOYAL, V. Capital structure decisions: Which factors are reliably important? *Financ Manag*, v. 38(1), p. 1–37, 2009.
- GABAIX, X. The granular origins of aggregate fluctuations. *Econometrica*, v. 79(3), p. 733–772, 2011.
- GATTI, D. D. et al. Business fluctuations in a credit-network economy. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 370, p. 68–74, 2006.
- GATTI, D. D. et al. Business fluctuations and bankruptcy avalanches in an evolving network economy. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, v. 4(2), p. 195–212, 2009.
- GATTI, D. D. et al. The financial accelerator in an evolving credit network. *Journal of Economic Dynamics and Control*, v. 34(9), p. 1627–1650, 2010.
- GIRI, F. et al. Monetary policy and large crises in a financial acceleratoragent-based model. *Journal of Economic Behavior and Organization*, v. 19, p. 42–58, 2019.

- GODLEY, W.; LAVOIE, M. *Monetary Economics: An Integrated Approach to Credit Money, Income, Production and Wealth*. [S.l.]: Palgrave Macmillan, 2012.
- GROPP, R.; HEIDER, F. The determinants of bank capital structure. *Review of Finance*, v. 14(4), p. 587–622, 2010.
- HOWITT, P. What have central bankers learned from modern macroeconomic theory. *Journal of Macroeconomics*, v. 34, p. 11–22, 2011.
- KALECKI, M. *Theory of economic dynamics; an essay on cyclical and long-run changes in capitalisteconomy*. New York: Rinehart, 1954.
- KALEMLI-OZCAN, S.; SORENSEN, B.; YESILTAS, S. Leverage across firms, banks and countries. *Journal of International Economics*, v. 88(2), p. 1143–1185, 2012.
- KIRMAN, A. Whom or what does the representative individual represent? *Journal of Economic Perspectives*, v. 6(2), p. 117–136, 1992.
- LAVOIE, M. *Post-Keynesian macroeconomics: new foundations*. [S.l.]: Edward Elgar, 2022.
- LEARY, M. Bank loan supply, lender choice and corporate capital structure. *J Financ*, v. 64(3), p. 1143–1185, 2009.
- LEE, F. Competition, going enterprise, and economic activity. In: *Moudud JK, Bina C, MasonPL (eds) Alternative theories of competition*. New York: Routledge, 2013. p. 160–73.
- LOWN, C.; MORGAN, D. The credit cycle and the business cycle: New findings using the loan officer opinion survey. *J Money Credit Bank*, v. 38(6), p. 1575–1597, 2006.
- MINSKY, H. P. The financial instability hypothesis: An interpretation of keynes and an alternativo to "standard"theory. *Neb J Econ Bus*, v. 16(1), p. 5–16, 1977.
- MINSKY, H. P. The financial-instability hypothesis: Capitalist processes and the behavior of the economy. In: KINDLEBERGER, C.; LAFFARGUE, J. P. (Ed.). *Financial Crises: Theory, History and Polity*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1982. p. 13–38.
- MORA, N.; LOGAN, A. Shocks to bank capital: Evidence from uk banks at home and away. *Applied Economics*, v. 44(9), p. 1103–1119, 2012.
- MYERS, S. C. The capital structure puzzle. *The Journal of Finance*, v. 39(3), p. 575–592, 1984.
- MYERS, S. C.; MALJUF, N. The capital structure puzzle. *Journal of Financial Economics*, v. 13(2), p. 187–221, 1984.
- NELSON, R.; WINTER, S. *An evolutionary theory of economic change*. [S.l.]: Harvard University Press, 1982.
- PEDROSA, Í.; LANG, D. To what extent does aggregate leverage determine financial fragility? new insights from an agent-based stock-flow consistent model. *Journal of Evolutionary Economics*, v. 31, p. 1221–1275, 2021.
- PEREIRA, M. d. C. *Uma Competição schumpeteriana e consumidores organizados em rede: uma análise do mercado brasileiro de acesso a internet*. Tese (Doutorado), 2015.

- POPOYAN, L.; NAPOLETANO, M.; ROVENTINI, A. Taming macroeconomic instability: Monetary and macro prudential policy interactions in an agent-based model. *Journal of Economic Behavior & Organization*, v. 134, p. 117–140, 2017.
- POSSAS, M.; DWECK, E. A multisectoral micro-macrodynamic model. *Economia*, v. 5(3), p. 1–43, 2004.
- REISSL, S. Minsky from the bottom up – formalising the two-price model of investment in a simple agent-based framework. *J Econ Behav Organ*, v. 177, p. 109–142, 2020.
- RICCETTI, L.; RUSSO, A.; GALLEGATI, M. Leveraged network-based financial acceleration. *Journal of Economic Dynamics and Control*, v. 37(8), p. 1626–1640, 2013.
- RICCETTI, L.; RUSSO, A.; GALLEGATI, M. An agent based decentralized matching macroeconomic model. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, v. 10(2), p. 305–332, 2015.
- RICCETTI, L.; RUSSO, A.; GALLEGATI, M. Financial regulation and endogenous macroeconomic crises. *Macroeconomic Dynamics*, v. 22(4), p. 896–930, 2018.
- RICCETTI, L.; RUSSO, A.; GALLEGATI, M. Firm–bank credit network, business cycle and macroprudential policy. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, v. 17, p. 475–499, 2021.
- SETTERFIELD, M. Path dependency, hysteresis and macrodynamics. In: *Path Dependency and Macroeconomics*. Basingstoke: Palgrave MacMillan, 2009. p. 37–79.
- SILVERBERG, G.; DOSI, G.; ORSENIGO, L. Innovation, diversity and diffusion: A self-organisation model. *Econ J*, v. 98(393), p. 1032–1054, 1988.
- STEINDL, J. *Maturity and stagnation in american capitalism*. New York: Monthly Review Press, 1952.
- VALENTE, M. Evolutionary demand: a model for boundedly rational consumers. *J Evol Econ*, v. 22, p. 1029–1080, 2012.
- VIANNA, M. T. *Monetary Policy and Stabilization in a Multisectoral Micro-Macro Dynamic Simulation Model*. Tese (Doutorado), 2021.