

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**FACULDADE DE ECONOMIA**  
**MESTRADO EM ECONOMIA APLICADA**

**PERFORMANCES COMPARATIVAS DE REGRAS SIMPLES DE  
POLÍTICA MONETÁRIA OTIMIZADAS PARA MINIMIZAR A  
VOLATILIDADE DE UMA ECONOMIA**

**Gibran Moniz Matni**

**Juiz de Fora, 2016.**

**GIBRAN MONIZ MATNI**

**PERFORMANCES COMPARATIVAS DE REGRAS SIMPLES DE POLÍTICA  
MONETÁRIA OTIMIZADAS PARA MINIMIZAR A VOLATILIDADE DE UMA  
ECONOMIA**

Dissertação elaborada pelo discente Gibran Moniz Matni como exigência do Curso de Mestrado em Economia Aplicada da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Economia Aplicada.

**Orientador: Prof. Dr. Sidney Martins Caetano**

**Co-Orientador: Prof. Dr. Wilson Rotatori Corrêa**

**Juiz de Fora**

**2016**

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Matni, Gibran.

Performances comparativas de regras simples de política monetária otimizadas para minimizar a volatilidade de uma economia / Gibran Matni. -- 2015.

63 p. : il.

Orientador: Sidney Caetano

Coorientador: Wilson Corrêa

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia. Programa de Pós-Graduação em Economia, 2015.

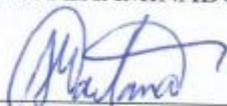
1. Política Monetária. 2. Modelos DSGE. 3. Programação Dinâmica. I. Caetano, Sidney, orient. II. Corrêa, Wilson, coorient. III. Título.

**Performances Comparativas de Regras Simples de Política Monetária Otimizadas  
para Minimizar a Volatilidade de uma Economia**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós Graduação em  
Economia Aplicada da Faculdade de  
Economia da Universidade Federal  
de Juiz de Fora como requisito  
parcial para obtenção do grau de  
mestre.

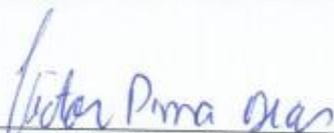
Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. Dr. Sidney Caetano (Orientador)  
Universidade Federal de Juiz de Fora



---

Prof. Dr. Victor Pina Dias  
BNDES



---

Prof. Dr. Paulo Cesar Coimbra  
Universidade Federal de Juiz de Fora

*“As man can certainly produce great results by adding up in any given direction mere individual differences, so could Nature, but far more easily (...) Man can act only on external and visible characters: nature cares nothing for appearances, except in so far as they may be useful to any being. She can act on every internal organ, on every shade of constitutional difference, on the whole machinery of life. Man selects only for his own good; Nature only for that of the being which she tends. Every selected character is fully exercised by her, and the being is placed under well-suited conditions of life (...) In social animals Natural Selection will adapt the structure of each individual for the benefit of the community.”*

Charles Darwin

*“The first ground rule is that the faculty know and understand the corpus of economic theory – not just their specialty within the field. That we insist that students and faculty speak a common language – the language of basic price theory and the economics of incentives – and that participants communicate these ideas clearly”*

*First Ground Rule for Chicago Economics*

*“That, I believe, is our basic function: to develop alternatives to existing policies, to keep them alive and available until the politically impossible becomes politically inevitable.”*

Milton Friedman

## RESUMO

Este trabalho visa o objetivo normativo de definir regras relativamente simples de política monetária otimizadas para minimizar as volatilidades do produto, da inflação e das variações dos juros, de modo a tornar o horizonte de planejamento mais estável para que os agentes possam tomar suas melhores decisões. Para tanto é utilizado um modelo de equilíbrio geral, dinâmico, estocástico, com expectativas racionais, estimado para a economia brasileira por Minella *et al.* (2008), micro-fundamentado considerando entre outras características rigidez de preços no nível dos produtores, famílias com restrição ao crédito e um governo que persegue uma meta de superávit primário como proporção do PIB. Sete distintas regras relativamente simples de política monetária são otimizadas minimizando as variâncias incondicionais das respostas ótimas do produto, da inflação e das variações da taxa básica de juros, obtidas a partir de uma simulação estocástica correspondente a um período de 10 anos. Variações das funções objetivo são computadas e as propagações econômicas do produto, da inflação e da taxa básica de juros, em resposta a nove choques exógenos estocásticos, são mostradas sob cada uma das regras otimizadas e sob a regra original empiricamente estimada. Dentro do ambiente considerado, regras relativamente mais simples – que não consideram variáveis *forward-looking*, que possuem elevado grau de inércia, que respondem relativamente alto à inflação corrente e que respondem à taxa de crescimento do *gap* do produto corrente ao invés de seu nível – são mais eficazes em estabilizar o produto e a inflação frente a choques exógenos estocásticos, tornando a economia considerada mais estável e proporcionando um horizonte de planejamento mais previsível para que seus agentes possam tomar suas decisões ótimas.

## ABSTRACT

This paper shows interesting results for monetary policy in a rational expectations dynamic stochastic general equilibrium model with structural parameters representing the Brazilian economy. Using a constructed algorithm, basic interest rate adjustments' coefficients are optimized in order to stabilize aggregate output and inflation in face of exogenous stochastic shocks. Optimized rules' stabilizations performances are compared in a ten years simulations of several, real, nominal, and financial, exogenous shocks. Results show if monetary policy objective is to stabilize the economy, it must be adopted interest rate's rules with chained and smoothed adjustments on basic interest rate, with high responses to current inflation, responses to output gap growth rate instead of levels, and no responses to any forward-looking variable.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	8
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	13
2.1 Breve Retrospecto Histórico .....	13
2.2 Revisão de Literatura Metodológica .....	13
2.3 Revisão de Pesquisas Produzidas .....	16
3. O MODELO .....	20
3.1 Ambiente Econômico .....	20
3.2 Modelo Linear .....	29
3.3 Estimação dos Parâmetros Estruturais.....	33
4. METODOLOGIA .....	35
4.1 Solução do Modelo.....	35
4.2 Função Objetivo do Banco Central.....	37
4.3 Algoritmo de Minimização .....	38
4.4 Regras Consideradas .....	40
5. RESULTADOS.....	43
CONCLUSÃO .....	50
BIBLIOGRAFIA.....	52
ANEXO – Funções Impulso-Resposta.....	55

## 1. INTRODUÇÃO

Este trabalho foca no desenho normativo de regras simples de política monetária que os bancos centrais podem adotar em suas decisões de ajustes da taxa básica de juros. Essas regras foram inicialmente investigadas em pesquisas com modelos monetários empíricos que consideram rigidez de preços e expectativas racionais construídos nas décadas de 1970 e 1980. Durante as duas últimas décadas foram feitos progressos substanciais nos modelos e seus processos de estimação para encontrar regras simples de política monetária que possuem boa performance na estabilização macroeconômica. Regras “simples” no presente trabalho são definidas como regras de movimentos da taxa de juros que não são obtidas a partir de controle ótimo. Alternativamente às regras simples estão as funções complexas obtidas nos modelos a partir de controle ótimo que podem servir como “guias” para o comportamento à discricção (para o público) do banco central. Regras simples são frequentemente mais robusta que as funções de reações obtidas a partir de controle ótimo; no sentido de obter boa performance de estabilização macroeconômica em uma variedade de modelos. Segundo Taylor e Williams (2010), a experiência histórica mostrou que regras simples podem funcionar bem no mundo real, de modo que a performance macroeconômica tem sido melhor quando as decisões dos bancos centrais são guiadas por essas regras.

Destaques de pesquisas produzidas no âmbito de desenhos normativos para as regras simples de política monetária utilizando modelos empíricos micro fundamentados com expectativas racionais e rigidez de preços são Taylor (1979, 1993a, 1993b, 1999, 2007), Bryant, Hooper, e Mann (1993), Henderson e McKibbin (1993), Fuhrer (1997), Rudebusch e Svensson (1999), Batini e Haldane (1999), Levin, Wieland e Williams (1999, 2003, 2007), Ben McCallum (1999), Levin, Wieland e Williams (1999, 2003), Woodford (1999, 2001, 2003), Williams (2003), Levin e Williams (2003), Rudebusch (2006), Orphanides e Williams (2007a), Taylor e Williams (2010), Taylor e Wieland (2012), entre outros.

Segundo Taylor e Wieland (2012), a recomendação padrão para a questão do design de regras de política monetária é evitar surpresas pois estas somente geram volatilidade adicional no produto e na inflação. Para esses autores, o design ótimo de política deve focar na escolha apropriada das variáveis e na magnitude dos coeficientes de resposta da regra que caracteriza o comportamento sistemático da

política monetária. A regra de política monetária deve ser desenhada com o objetivo de estabilizar o produto e a inflação em face à choques exógenos. Não obstante a recomendação de evitar surpresas e sim de caracterizar um comportamento sistemático para os ajustes na taxa básica de juros, na prática, bancos centrais atuam de forma discricionária com limitações; um exemplo é a atuação discricionária comprometida com metas pré-estabelecidas para a inflação.

O regime de política monetária fixado no Brasil desde junho de 1999 fundamenta-se na “sistemática de ‘metas para inflação’”<sup>1</sup>. O Banco Central do Brasil compromete-se em situar a taxa de inflação dentro das metas de tolerância pré-estabelecidas. No entanto, os ajustes na taxa básica de juros – principal instrumento da política monetária brasileira – são discricionários, ou seja, não são sistematicamente determinados por regras de conhecimento geral que permitem ao público a antecipação exata da *reação* da autoridade monetária à choques na economia real. Por exemplo, diante de choques na economia real, não serão claras as expectativas dos agentes quanto aos movimentos conjecturais na taxa básica de juros – conseqüentemente a estabilidade macroeconômica pode ser comprometida uma vez que os agentes cometam erros de previsão. Sob o regime de política monetária discricionária, o comportamento do banco central é não determinístico para os agentes da economia. Sob discricionariedade, mesmo que limitada, a taxa básica de juros da economia é mais um componente estocástico para as previsões e projeções econômicas realizadas pelo público.

No Brasil, desde a implementação do regime de metas de inflação as investigações empíricas sobre o comportamento histórico do banco central buscam verificar se a política monetária está “próxima” de uma regra ou não. Ou seja, supõe-se uma regra de política monetária que possivelmente o banco central possa estar seguindo e então são verificados se há ou não desvios dessa possível regra. É importante ressaltar que embora usar regras de política dessa forma seja um tanto comum, não está de acordo com as principais propostas para regras de ajustes da taxa básica de juros, tais como a de Taylor (1993a). A recomendação é que a regra seja, de fato, o comportamento sistemático da autoridade monetária no ajuste da taxa básica de juros; desse modo os movimentos da taxa básica de juros são mais

---

<sup>1</sup> Decreto nº 3.088, de 21 de junho de 1999.

previsíveis e não tornam-se uma “volatilidade adicional” para o público. Nesse contexto, há espaço para pesquisas que determinem uma regra de política monetária estável que simultaneamente evita criar choques monetários e amortece a economia brasileira frente a outros distúrbios.

Há a pressuposição teórica fundamental neste trabalho de que algumas regras simples de política monetária poderiam aprimorar a política ao evitar excessos monetários; sejam estes relacionados ao uso de moeda para financiar dívidas, à descoberta de commodities, à fluxos de ouro, ou a erros cometidos por bancos centrais que perseguem muitos objetivos ou baseiam suas decisões em funções complexas de pouca praticidade. Nesse contexto, a escolha entre um padrão monetário em que a oferta de moeda cresce aleatoriamente (para o público, pelo menos) e entre uma regra simples com crescimentos suaves da moeda e do crédito torna-se óbvio. A escolha é bem mais simples que “regra versus à discricção”, conforme Taylor e Williams (2010) a escolha é entre “regra versus política monetária caótica”<sup>2</sup>, seja o caos causado pela discricção ou por eventos exógenos imprevistos da economia real.

Não obstante a evolução técnica dos modelos micro fundamentados – com expectativas racionais e rigidez nos preços – e o aumento de pesquisas normativas sobre regras simples de política monetária nas duas últimas décadas, não há publicações que investiguem esse tema considerando a economia brasileira. Diante da falta de pesquisas publicadas com desenhos normativos de regras simples de política monetária para a economia brasileira, o objetivo deste trabalho é investigar regras simples que promovam boas performances econômicas no sentido de minimizar as volatilidades do produto, da inflação e das variações da taxa básica de juros frente a choques exógenos estocásticos utilizando um modelo representativo da economia brasileira. Para tanto, é utilizado um modelo de equilíbrio geral, dinâmico, estocástico, com expectativas racionais, micro-fundamentado considerando entre outras características rigidez de preços no nível dos produtores, famílias com restrição ao crédito e um governo que persegue uma meta de superávit primário como proporção do PIB, empiricamente estimado para a economia brasileira por Minella *et al.* (2008). Considerando o ambiente do modelo adotado, sete formas funcionais de

---

<sup>2</sup> Taylor e Williams (2010), p. 3. Tradução livre do original.

regras simples de política monetária são otimizadas minimizando uma função objetivo composta pelas variâncias incondicionais do *gap* do produto, da inflação e das variações dos juros. Depois de obtidas as regras otimizadas, as variações das perdas são comparadas e a propagação para dez anos de nove distintos choques estocásticos são mostradas sobre o produto, a inflação e a resposta dos juros, para cada uma das regras otimizadas obtidas. Resultados indicam que regras relativamente mais simples – que não consideram variáveis *forward-looking*, que possuem elevado grau de inércia, que contam com uma resposta relativamente alta à inflação corrente e que respondem à taxa de crescimento do *gap* do produto ao invés de seu nível – são mais eficazes em estabilizar o produto e a inflação frente a choques exógenos estocásticos dentro do ambiente considerado.

Importante frisar que o escopo metodológico do presente trabalho foca em regras de política monetária a serem desenhadas para propósitos normativos ao invés de focar em funções de reações que foram estimadas para propósitos positivos ou descritivos. Em outras palavras, as regras obtidas no presente trabalho são desenhadas para promover boas performances econômicas, e não para ajustar estatisticamente as decisões de fato tomadas por bancos centrais<sup>3</sup>.

O trabalho divide-se da seguinte maneira: após esta introdução a segunda parte apresenta uma revisão de literatura subdividida em três subseções, sendo uma revisão histórica, uma revisão metodológica e uma revisão de pesquisas recentes. A terceira parte apresenta o modelo econômico considerado. A quarta parte apresenta a metodologia e subdivide-se em quatro subseções que apresentam respectivamente a solução computacional das *policy functions* do modelo e sua preparação para a otimização das regras, a função objetivo do banco central, o algoritmo utilizado no processo de minimização, e as regras consideradas. A quinta parte apresenta os resultados dos parâmetros das regras otimizadas e as variações das funções perda calculadas. A sexta parte conclui o trabalho. Gráficos das funções impulso-resposta simuladas são apresentados no Anexo.

---

<sup>3</sup> Obviamente tais regras normativas também podem ser descritivas caso o banco central as adote. Neste caso, pesquisas de estimações empíricas de funções de reações adotadas na prática pelos bancos centrais podem indicar se de fato as regras pré-estabelecidas estão sendo seguidas à risca e se suas performances de estabilização macroeconômica são efetivas com base nas realizações das séries observadas.



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Breve Retrospecto Histórico

Adam Smith investigou primeiramente a questão das regras de política monetária em *Wealth of Nations* argumentando que “um papel-moeda bem regulado”<sup>4</sup> poderia ter vantagens significativas em intensificar o funcionamento adequado dos mercados em comparação com o padrão-moeda puramente baseado em mercadorias, como ouro. No início do século XIX, David Ricardo defendeu a importância de políticas monetárias guiadas por regras após testemunhar o episódio da crise financeira induzida por questões monetárias relacionadas às guerras Napoleônicas. Em meados do século XX, Irving Fisher e Knut Wicksell propuseram regras de política monetária para evitar excessos monetários dos tipos que levaram à hiperinflação que sucedeu a Primeira Guerra Mundial e que possivelmente causaram a Grande Depressão. Em seguida, após estudar os diversos equívocos monetários que possivelmente causaram a Grande Depressão, Milton Friedman propôs uma regra de crescimento constante com o objetivo de evitar repetir erros passados. Finalmente, regras modernas de política monetária, como a regra de Taylor (1993), objetivaram cessar as instabilidades dos preços e dos produtos que ocorreram nas décadas de 1960 e 1970. Para Taylor e Williams (2010), a história do pensamento econômico torna claro que o objetivo comum das clássicas reformas propostas é simples, uma política monetária estável que simultaneamente evita criar choques monetários e amortece a economia frente a outros distúrbios, e conseqüentemente reduz as chances de recessões, depressões, crises, deflação, inflação, e hiperinflação.

De acordo com Taylor e Williams (*ibid*), e inspirado em Adam Smith, David Ricardo, Knut Wicksell, Irving Fisher, e Milton Friedman, o objetivo da política monetária deve ser acomodar a Economia diante de choques exógenos inesperados e não causar seus próprios choques; de modo que o horizonte de planejamento dos agentes torne-se mais estável para que suas decisões ótimas individuais possam ser tomadas.

### 2.2 Revisão de Literatura Metodológica

Houve uma rápida mudança no pensamento e na modelagem macroeconômica durante os últimos 20 a 30 anos, que pode ser comparado à uma mudança “dos

---

<sup>4</sup> Livro IV “*Of Systems of Political Economy*”. P. 348.

irmãos Wright para um Airbus 380 em uma geração”<sup>5</sup>. A grande mudança na teoria macroeconômica começou no trabalho seminal de Kydland e Prescott (1982); de modelagem da economia norte-americana e de introdução do modelo *Real Business Cycle* (RBC). Apesar de muitos opositores, esse novo *approach* metodológico de *dynamic stochastic general equilibrium* (DSGE) tornou-se mais e mais aceito durante os anos, e agora representa “uma significativa parcela das publicações em macroeconomia”<sup>6</sup>. De acordo com Blanchard (2008), depois de um longo debate sobre o modelo macroeconômico apropriado durante as últimas décadas<sup>7</sup>, um consenso no *approach* metodológico das questões macroeconômicas foi alcançado. Durante os últimos anos houve extensivamente pesquisas sobre política monetária considerando modelos DSGE.

As características principais de modelos DSGE são bem sumarizadas pelo seu próprio nome. Os modelos são dinâmicos, referindo ao foco dos modelos no *time path* das variáveis, em contraste com modelos de variáveis *one-time*. Os modelos são analisados em equilíbrio relacionando-se ao fato de que o modelo é baseado na teoria econômica em que os mecanismos de mercado criam um balanceamento entre oferta e demanda nos diferentes mercados considerados. Os agentes comportam-se de modo *forward-looking* e possuem expectativas racionais<sup>8</sup>. Segundo Milani (2012), desde a então chamada revolução das expectativas racionais de Lucas, Sargent e Wallace, modelos macroeconômicos empregaram quase que universalmente as suposições de expectativas racionais. Segundo Flotho (2009), modelos DSGE não são atrativos somente da perspectiva teórica, eles também são uma ferramenta útil para previsão e análise quantitativa de políticas em macroeconomia. Para esse autor, modelos DSGE são competitivos com VARs em termos de poder de previsão<sup>9</sup>.

---

<sup>5</sup> Fernández-Villaverde (2010), p. 1. Tradução livre do original.

<sup>6</sup> An e Schorfheide (2007), p.113. Tradução livre do original.

<sup>7</sup> Para uma revisão extensiva da história da teoria dos ciclos de negócios ver Landmann (2007).

<sup>8</sup> Segundo Milani (2012), em modelos DSGE, agentes racionais formam expectativas que correspondem à mesma esperança condicional matemática implicada pelo modelo usado. Desse modo, expectativas são consistentes com o modelo: agentes no modelo formam expectativas que correspondem às verdadeiras expectativas geradas pelo próprio modelo. Nas aplicações mais típicas, assume-se que os agentes econômicos conhecem a forma e a solução do modelo, conhecem os parâmetros que descrevem as preferências, a tecnologia, as restrições e o comportamento da política; conhecem as distribuições dos choques exógenos e os parâmetros relevantes que descrevem essas distribuições. A única fonte de incerteza para os agentes é dada pelas realizações dos choques exógenos aleatórios, que são imprevisíveis (agentes possuem acesso à distribuição de probabilidade de ocorrência dos choques e do histórico completo de ocorrência destes).

<sup>9</sup> Ver (Edge *et al.*,2009).

Segundo Taylor e Williams (2010), a suposição de expectativas racionais trouxe atenção para a importância da consistência no tempo e da previsibilidade, seja sobre a inflação ou sobre respostas de política. A rigidez de preços e salários deu um papel para a política monetária que não estava evidente em modelos com expectativas racionais sem rigidez nominal; a regra de política monetária importa nesses modelos, mesmo com todos os agentes sabendo o que ela é e a antecipando.

Taylor e Williams (2010) apresentam uma extensiva revisão sobre pesquisas empíricas acerca de regras de política monetária. Para esses autores, modelos dinâmicos, estocásticos, e empiricamente estimados, com expectativas racionais e rigidez de preços (modelos DSGE) “são sofisticados o suficiente para servir como um laboratório para examinar como determinada regra de política monetária funcionaria na prática”<sup>10</sup>. Modelos DSGE suportam requisitos para analisar performances de políticas – não sofrem as críticas de Lucas (1976) e da inconsistência temporal de Kydland e Prescott (1977).

Modelos DSGE estão sendo utilizados para encontrar novas regras de política monetária, tal como a Regra de Taylor, para comparar regras e para verificar robustez. Entretanto, não há razão fundamental pela qual modelos DSGE não devam ser usados para estudar funções mais complexas de política monetária discricionária<sup>11</sup>. De fato, antes da busca por regras simples, a teoria do controle ótimo estava sendo empregada aos modelos DSGE para encontrar as *Ramsey Policy*. O resultado foram funções praticamente complexas para os movimentos dos instrumentos de política monetária. Mishkin (2007), por exemplo, usa controle ótimo para computar movimentos da taxa básica de juros e contrasta os resultados com regras simples de política monetária, afirmando que na política discricionária ótima<sup>12</sup> “a taxa dos fundos federais é menos agressiva e substancialmente mais rápida que a regra de Taylor (...) essa diferença é exatamente o que esperaríamos porque a autoridade monetária não esperaria para reagir até que o produto começasse a cair”<sup>13</sup>. Enquanto Mishkin (2007)

<sup>10</sup> Taylor e Williams (2010), p. 4. Tradução livre do original.

<sup>11</sup> “Discrição” como locução adverbial; à discrição, à vontade, à livre escolha. Tanto quanto se queira. (do latim: *discretio*).

<sup>12</sup> As políticas ótimas encontradas em modelos DSGE por controle ótimo são funções complexas das variáveis abarcadas pelo modelo. Essas funções complexas tornam-se praticamente impossíveis de serem regras; no sentido de uma regra pré-estabelecida devidamente seguida pelo Banco Central e de conhecimento geral. Além disso, essas políticas ótimas (*Ramsey Policies*) são factíveis somente no modelo de origem, de modo a não alcançarem graus de robustez equiparados aos de regras simples.

<sup>13</sup> Citado em Taylor e Williams (2010), p. 5. Tradução livre do original.

enfatizou a importância de desviar das regras de política, Taylor (2007) mostrou que um simples desvio intensificou o *boom* imobiliário e então contribuiu para causar diversas crises financeiras, a grande recessão, e possivelmente o fim da Grande Moderação.

### 2.3 Revisão de Pesquisas Produzidas

O *modus operandi* geral em que as pesquisas acerca de regras de política monetária originalmente começou em modelos DSGE foi através da experiência com diferentes regras de política; as testando em diferentes modelos de economias, e verificando como a performance econômica é afetada. Segundo Taylor e Williams (2010), o critério para performance era usualmente o tamanho dos desvios da inflação ou do PIB real ou do desemprego de alguma taxa natural ou equilíbrio. Em modelos DSGE, basicamente, as regras de política monetária são planos de contingência que refletem como a política monetária deve ser feita. Para pesquisas com esses modelos, as regras devem ser escritas matematicamente. Pesquisadores testam regras de política monetária com diferentes formas funcionais, diferentes instrumentos, e diferentes variáveis para resposta dos instrumentos. Desse modo, procuravam-se pela regra que funcionasse bem ao simular estocasticamente o modelo com uma série de choques realísticos. Para encontrar as melhores regras, pesquisadores experimentavam várias formas funcionais e/ou parâmetros até encontrar aquela que proporcionava uma melhor performance econômica<sup>14</sup>. O modelo com expectativas racionais multi-países de Taylor (1993b) é destaque entre essas pesquisas. Apesar das diversas pesquisas realizadas, nenhuma regra claramente “melhor” foi encontrada, de modo que, como comumente é o caso em pesquisas econômicas, críticos reclamaram sobre o evidente desacordo entre qual regra de política monetária seria a mais apropriada. Não obstante, segundo Taylor e Williams (2010), ao averiguar cuidadosamente resultados simulados a partir de diferentes modelos, é possível observar que as “melhores” regras geralmente possuíam, em modelos da época, três características: (1) o instrumento de taxa de juros performa melhor do que um instrumento de agregado monetário, (2) regras de taxas de juros que reagem tanto à inflação quanto ao PIB real (ou ao *gap* deste) performam melhor do que regras que desconsideram algum dos

---

<sup>14</sup> Para maiores informações sobre as primeiras pesquisas que buscaram regras de política monetária, ver Bryant, Hooper e Mann (1993); Henderson e Mckibbin (1993) e Taylor e Williams (2010).

dois, (3) regras de taxas de juros que reagem à taxa de câmbio são inferiores às que não reagem.

Uma regra específica que fora derivada desses tipos de simulação foi a Regra de Taylor. Essa regra possui duas características importantes que a torna efetiva em estabilizar o produto e a inflação em simulações. Primeiro, ela sugere que a taxa de juros nominal reaja com movimentos maiores do que um-para-um em resposta a movimentos na taxa de inflação. Essa característica foi denominada Princípio de Taylor (Woodford 2001). A segunda característica importante é que a autoridade monetária deve “remar contra a maré”, aumentando a taxa de juros quando o PIB ultrapassar o PIB potencial e diminuindo a taxa de juros quando o PIB estiver aquém do PIB potencial. Desse modo, a política monetária acelera o progresso econômico para o alvo da inflação e para o nível potencial do produto.

Estudos mais recentes acerca de política monetária tendem a seguir um *approach* semelhante exceto pela evolução da modelagem microeconômica e empírica/quantitativa dos modelos e pelo fato de o foco estar em questões específicas relacionadas à especificação e parametrização ótimas de regras simples de política monetária como a Regra de Taylor. Os parâmetros e as variáveis das regras são então escolhidos de modo a minimizar uma função perda estipulada sujeito às restrições e dinâmicas impostas pelo modelo. Segundo Taylor e Williams (2010), usualmente a função perda é composta por termos quadráticos da inflação, do produto e das variações da taxa de juros, representando o senso comum de que as flutuações dos ciclos de negócios e altas e voláteis taxas de inflação e de juros são indesejáveis<sup>15</sup>. Williams (2003) descreve métodos numéricos usados para computar os momentos incondicionais e os valores dos parâmetros otimizados da regra de política monetária gerados por um modelo linear com expectativas racionais. Dado esse arcabouço, diversos estudos têm sido produzidos para determinar regras simples de política monetária otimizadas em diferentes modelos.

A primeira importante questão para determinar regras simples otimizadas de política monetária é a medida apropriada da taxa de inflação a ser incluída na regra. Em muitos modelos (ver, por exemplo, Levin, Wieland e Williams, 1999, 2003), regras

---

<sup>15</sup> Essas funções perdas compostas por esses termos quadráticos também pode ser derivada como aproximações de funções de bem-estar de agentes representativos. Ver Woodford (2003) e Rudesbusch (2006).

simples que respondem para taxas de inflação suavizadas tais como a taxa ano-a-ano ou trimestral anualizada tipicamente performam melhor do que aquelas que respondem à taxa de inflação trimestre-a-trimestre, mesmo que objetivo seja minimizar a volatilidade da taxa de inflação trimestre-a-trimestre. A segunda importante questão com relação à especificação de regras simples de política monetária é até que ponto estas devem responder à *expectativas do futuro* da inflação e do *gap* do produto. Batini e Haldane (1999) argumentam que as políticas devem ser *forward-looking*. No entanto, Rudebusch e Svensson (1999), Levin, Wieland e Williams (2003), e Orphanides e Williams (2007a) investigaram a escolha ótima da estrutura de expectativas na regra de política em vários modelos e não encontraram benefícios significativos em responder à expectativas acima de um ano para a taxa de inflação ou à inflação passada à corrente, o mesmo valendo para o *gap* do produto. De fato, Levin, Wieland e Williams (2003) mostram que regras que respondem à previsão prolongada no futuro da inflação tendem a gerar indeterminância em modelos com expectativas racionais. A terceira importante questão é a inércia da política ou “suavização da taxa de juros”. Segundo Taylor e Williams (2010), um grau significativo de inércia na política monetária pode ajudar a aprimorar a performance em modelos *forward-looking*. Para esses autores, de fato, em modelos DSGE o valor ótimo do parâmetro auto-regressivo tende a ser próximo a um e em alguns modelos excede um. Como discutido em Levin, Wieland e Williams (1999) e Woodford (1999, 2003), regras inerciais tomam vantagem das expectativas futuras da política e das dinâmicas econômicas ao influenciar os resultados.

A revisão das pesquisas produzidas sobre o desenho de regras simples de política monetária em modelos micro fundamentados indica que existe uma direção bem definida que vem sendo tomada na abordagem dessas respectivas pesquisas. Para encontrar as melhores regras pesquisadores experimentam distintas formas funcionais até obter aquela que estabiliza as flutuações econômicas obtidas a partir de simulações estocásticas dos modelos com uma série de choques. Os parâmetros e as formas funcionais das regras estão sendo escolhidos de modo a minimizar as variâncias incondicionais do produto, da inflação e das variações dos juros. Os estudos mais recentes sobre os desenhos de regras de política monetária focam em questões específicas relacionadas à especificação e parametrização de regras simples de política monetária, como a Regra de Taylor, por exemplo. Entre essas

questões específicas, destaca-se a atenção dada para a necessidade ou não de incluir variáveis *forward-looking*, e o quanto inercial (ou suave) devem ser os movimentos da taxa básica de juros.

Diante do andamento das pesquisas normativas acerca de desenhos simples de políticas monetária otimizadas, este trabalho intenta averiguar as características e os desempenhos de regras simples otimizadas dentro do arcabouço de um modelo DSGE com expectativas racionais, com rigidez de preços no nível dos produtores, com famílias com restrição ao crédito e com um governo que persegue uma meta de superávit primário como proporção do PIB, estimado para a economia brasileira por Minella *et al.* (2008). Motiva-se para definir desenhos normativos de regras simples de política monetária otimizadas dentro de um ambiente representativo da economia brasileira e verificar as características – intensidade das respostas, presença de variáveis *forward-looking*, e grau de suavidade – das regras analisadas que apresentam a melhor performance em estabilizar a economia diante de choques exógenos estocásticos.

### 3. O MODELO

#### 3.1 Ambiente Econômico

A economia brasileira é modelada utilizando um modelo dinâmico, estocástico, de equilíbrio geral com expectativas racionais, de uma pequena economia aberta com rigidez de preços no nível dos produtores intermediários e com famílias não-ricardianas, estimados com dados da economia brasileira por Minella *et al.* (2008). Rigidez real é adicionada ao incorporar o custo de utilização do capital e o custo de ajustamento do capital. Também é considerada persistência no hábito de consumo. Importações entram no modelo como insumos usados na função de produção. A autoridade fiscal persegue explicitamente uma taxa de superávit primário em relação ao PIB, enquanto estabiliza a dívida pública como proporção do PIB. O prêmio de risco país é afetado por movimentos na preferência dos investidores estrangeiros pelo risco. O modelo utilizado fora desenvolvido para analisar o impacto de choques reais na economia brasileira. No modelo, assume-se que as economias doméstica e estrangeiras possuem características análogas (o mesmo tipo de agentes e a mesma estrutura produtiva). Importações são insumos para a produção doméstica, e exportações são insumos para as firmas estrangeiras. O lado da demanda do modelo é composto pelo consumo privado e pelo investimento das famílias, pela importação das firmas, pelos gastos do governo e pelas exportações. A família representativa consome, provê trabalho e paga tributos. Há hábitos de persistência no consumo. Assume-se que as famílias são divididas em duas categorias: *optimizers* e *rule-of-thumbers*. As famílias *rule-of-thumbers* não têm acesso ao mercado de crédito e nem ao capital; de modo que seu consumo é limitado à sua renda. As famílias *optimizers*, por sua vez, proveem serviços de capital e não possuem restrição de liquidez. Serviços de capital são definidos como o estoque de capital físico ajustado pela taxa de utilização do capital. No lado da oferta, existem importadores, produtores, e montadores de bens finais. Importadores compram produtos diferenciados do exterior e montam eles, transformando-os em um produto homogêneo. Esse produto é então vendido, como insumos, em um mercado competitivo para produtores domésticos. Além das importações, produtores usam mão-de-obra e serviço de capital como insumos, os quais são ofertados pelas famílias. Essas firmas domésticas produzem bens diferenciados, são competidores monopolísticos, e enfrentam uma rigidez de preços à la Calvo, isto é, a cada período as firmas possuem uma probabilidade fixa

de não ajustar seus preços. Para decidir os preços, usa-se o *approach* de Galí e Gertler (1999), no qual, entre os produtores que ajustam seus preços, parte deles otimiza e outra parte segue a inflação passada. Esses produtores vendem seus produtos para montadores de bens finais, os quais são firmas competitivas. Essas firmas montam os bens diferenciados, os transformando em bens homogêneos de consumo ou de investimento (vendidos no mercado doméstico) ou em bens de exportação (para serem usados como insumos no exterior). A autoridade fiscal persegue explicitamente uma taxa de superávit primário em relação ao PIB, enquanto estabiliza a dívida pública como proporção do PIB. As variáveis do resto do mundo, por sua vez, são modeladas como processos exógenos.

O nível das variáveis no tempo  $t$  é denominado por letras maiúsculas, por exemplo  $X_t$ . O nível de crescimento equilibrado de longo prazo (de *steady state*) é escrito sem o subscrito  $t$ , por exemplo  $X$ . O desvio log-linear do *steady state* é representado por letras minúsculas, por exemplo  $x_t$ . Usa-se  $Z_t^S$  para denominar o processo de choque  $S$ . Inovações aos processos de choques são representadas por  $\varepsilon_t^S$ . Variáveis “estrangeiras” são indexadas por um asterisco “\*”. Na convenção temporal adotada, variáveis de fluxo decididas em  $t$  são indexadas por “ $t$ ”, enquanto variáveis de estoque (como exemplo capital e títulos) escolhidas em  $t$  são indexadas por “ $t+1$ ”. Utilizam-se o índice “ $j$ ” para referir-se aos agentes econômicos e o índice “ $i$ ” para definir janela de tempo. O tempo é equivalente ao trimestre do calendário, indexado como “ $t=1,2,3,\dots$ ”.

O setor das famílias consiste em um contínuo de famílias indexadas por  $j \in [0,1]$ . Uma fração  $(1 - \bar{\omega}_h)$  é composta por *optimizers* e a outra,  $\bar{\omega}_h$ , por *rule-of-thumb*. Ambas as famílias ofertam trabalho em um mercado competitivo e, por conseguinte, não possuem poder de mercado. Assume-se que os salários são perfeitamente flexíveis para equilibrar as decisões ótimas de ofertas de trabalho das famílias *optimizers* e das famílias *rule-of-thumb* com as decisões ótimas de demanda por trabalho das firmas.

Famílias *optimizers* resolvem um problema padrão. Elas maximizam intertemporalmente uma função utilidade CES:

$$\max_{\{C_t^j, N_t^j, B_t^j, B_t^{*j}, K_{t+1}^j, U_t^j, I_t^j\}, j \in [0, 1 - \bar{\omega}_h]} E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t Z_t^c \left\{ \frac{(C_t^j - hC_{t-1}^o)^{1-\sigma}}{1-\sigma} - Z_t^n \frac{\psi}{1+\eta} (N_t^j)^{1+\eta} \right\},$$

Sujeito à restrição orçamentária

$$\begin{aligned} C_t^j + I_t^j + a(U_t^j)K_t^j + \frac{B_{t+1}^j}{P_t R_t} + \frac{B_{t+1}^{*j}}{P_t \Phi_t R_t^*} S_t \\ \leq \frac{W_t N_t^j}{P_t} + \frac{r_t^{n,k} U_t^j K_t^j}{P_t} + \frac{B_t^j}{P_t} + \frac{B_t^{*j} S_t}{P_t} + \frac{Y_t^j}{P_t} - \frac{TAX_t^n}{P_t}; \forall t > 1, \end{aligned}$$

e à lei de movimento do capital

$$K_{t+1}^j = (1 - \delta)K_t^j + \left[ 1 - S\left(\frac{I_t^j}{Z_t^l I_{t-1}^j}\right) \right] I_t^j.$$

Onde  $\beta$  é um fator de desconto,  $E_0$  é o operador de expectativas,  $C_t^j$  é o consumo da família  $j$ ,  $C_t^o$  é o consumo médio das famílias *optimizers*,  $N_t^j$  é a quantidade de trabalho ofertada pela família  $j$ ,  $Z_t^c$  é um choque na preferência por consumo,  $Z_t^n$  é um choque na preferência pela oferta de trabalho,  $K_t^j$  é o estoque de capital físico,  $U_t^j$  é a taxa de utilização do capital físico,  $I_t^j$  é o investimento,  $P_t$  é o nível de preços na economia,  $B_{t+1}^j$  é o título doméstico de um período (denominado em moeda doméstica),  $B_{t+1}^{*j}$  são títulos de um período internacionalmente transacionados denominados em moeda estrangeira (ambos sob posse das famílias ao iniciar o período  $t+1$ ),  $S_t$  é a taxa de câmbio nominal (definida como preço da moeda estrangeira em unidades da moeda doméstica),  $r_t^{n,k}$  é a taxa nominal de aluguel dos serviços de capital (definidos como  $U_t^j K_t^j$ ),  $R_t$  é a taxa bruta de juros nominal doméstica,  $R_t^*$  é a taxa bruta de juros nominal internacional livre de risco,  $\Phi_t$  é o prêmio de risco-país (em termos brutos),  $W_t$  é o salário nominal,  $Y_t^j$  é o lucro nominal dos produtores de bens intermediários,  $TAX_t^n$  são tributos *lump-sum* líquidos<sup>16</sup>,  $\delta$  é a taxa de depreciação do capital,  $Z_t^l$  é um choque ao custo de ajustamento do capital. Ajustar a taxa de utilização do capital implica em custos convexos, medidos em unidades de bens finais e definidos pela função  $a(U_t^j)$ ; que satisfaz  $a'(\cdot) > 0$ ,  $a''(\cdot) < 0$ ,  $a(U^j) = 0$ ,  $U^j = 1$  (a taxa de utilização do capital

<sup>16</sup> Apesar de o lucro da tributação ser modelado como uma função nominal do PIB, assume-se, por simplificação, que famílias não incorporam isto quando solucionam seu problema de otimização.

no *steady state*), e  $\delta_a \equiv \frac{a''(\cdot)}{a'(\cdot)}$ . A lei de movimento do capital inclui um custo de ajustamento dado pela função  $S\left(\frac{I_t^j}{Z_t^j I_{t-1}^j}\right)$ , a qual satisfaz as seguintes propriedades no *steady state*:  $S(1) = 0$ ,  $S'(1) = 0$  e  $S''(1) \equiv \delta_s > 0$ .

O grupo de famílias denominado *rule-of-thumbers* não tem acesso aos mercados de crédito, de ativos e de capital. As famílias *rule-of-thumbers* maximizam a mesma função objetivo que as *optimizers*, mas seu nível de consumo é limitado à renda do trabalho. As famílias *rule-of-thumbers* não são tributadas pelo governo. Elas resolvem o seguinte problema:

$$\max_{\{C_t^j, N_t^j\}_{j \in (1-\bar{\omega}_h, 1)}} E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t Z_t^c \left\{ \frac{(C_t^j - hC_{t-1}^o)^{1-\sigma}}{1-\sigma} - Z_t^n \frac{\varphi}{1+\eta} (N_t^j)^{1+\eta} \right\},$$

Sujeito à restrição orçamentária

$$P_t C_t^j \leq W_t N_t^j.$$

Combinando as condições para os dois grupos de famílias geram-se as equações para o consumo agregado e para a oferta agregada de trabalho<sup>17</sup>:

$$C_t = (1 - \bar{\omega}_h) C_t^o + \bar{\omega}_h C_t^r,$$

$$N_t = (1 - \bar{\omega}_h) N_t^o + \bar{\omega}_h N_t^r.$$

A economia possui uma firma representativa que monta bens diferenciados usando um agregador CES. O bem final homogêneo resultante é vendido em um mercado competitivo. Então, os montadores de bens finais tomam todos os preços como dados. O bem final homogêneo pode ser usado para consumo privado, consumo do governo, investimento ou exportações. No último caso, o bem é transformado em insumos pelos importadores estrangeiros.

O montador de bens finais resolve um problema de otimização tradicional. Ele maximiza lucros:

<sup>17</sup>  $C_t = \int_0^{1-\bar{\omega}_h} C_t^j dj + \int_{1-\bar{\omega}_h}^1 C_t^j dj$ ,  $N_t = \int_0^{1-\bar{\omega}_h} N_t^j dj + \int_{1-\bar{\omega}_h}^1 N_t^j dj$  e condições de equilíbrio simétricas ( $C_t^j = C_t^o$ ,  $N_t^j = N_t^o$ ,  $\forall j \in (0, 1 - \bar{\omega}_h)$ , e  $C_t^j = C_t^r$ ,  $N_t^j = N_t^r$ ,  $\forall j \in (1 - \bar{\omega}_h, 1)$ ).

$$\max_{\{Y_t, Y_{it}\}} \left\{ P_t Y_t - \int_0^1 P_{it} Y_{it} d_i \right\},$$

Sujeito ao agregador CES

$$Y_t \equiv \left( \int_0^1 (Y_{it})^{\frac{\xi-1}{\xi}} d_i \right)^{\frac{\xi}{\xi-1}}; \xi > 1.$$

O resultado é a curva de demanda pelo bem  $i$ :

$$Y_{it} = \left( \frac{P_{it}}{P_t} \right)^{-\xi} Y_t.$$

Combinando a equação anterior com a condição de lucro zero implica no seguinte nível agregado de preços:

$$P_t = \left( \int_0^1 P_{it}^{1-\xi} d_i \right)^{\frac{1}{1-\xi}}.$$

Definindo um produto não ponderado como  $\tilde{Y}_t \equiv \int Y_{it} d_i$ , é possível mostrar que medidas ponderadas ou não ponderadas são equivalentes em aproximações de primeira ordem ( $\tilde{Y}_t \approx Y_t$ ).

Nesta economia, a produção é determinada por firmas monopolisticamente competitivas, indexadas por  $i \in [0,1]$ , que produzem bens diferenciados. A função de produção dessas firmas utiliza trabalho, serviços de capital e bens importados como insumos. Trabalho e serviços de capital são combinados usando uma função de produção Cobb-Douglas:

$$Y_{i,t}^d = A_t (K_{i,t}^u)^\alpha N_{i,t}^{1-\alpha},$$

Onde  $Y_{i,t}^d$  é denominado como produto doméstico,  $A_t$  é um fator tecnológico comum entre as firmas,  $N_{i,t}$  é o insumo trabalho e  $K_{i,t}^u \equiv U_{i,t} K_{i,t}$ . O insumo doméstico, por sua vez, é combinado com insumos importados usando uma função de produção CES:

$$Y_{i,t} = \left[ \epsilon^{\frac{1}{\varrho}} (Y_{i,t}^d)^{\frac{\varrho-1}{\varrho}} + (1-\epsilon)^{\frac{1}{\varrho}} (M_{i,t})^{\frac{\varrho-1}{\varrho}} \right]^{\frac{\varrho}{\varrho-1}},$$

Onde  $M_{i,t}$  denota os bens importados.

O problema de otimização da firma monopolisticamente competitiva é dividido em dois estágios. No primeiro estágio, as firmas escolhem  $Y_{i,t}$ ,  $M_{i,t}$ , e  $K_{i,t}^u$  (variáveis de alocação), tomando os preços como dados. A minimização do custo de um bem intermediário  $i$  é dada por:

$$\min_{\{M_{i,t}, N_{i,t}, K_{i,t}^u\}} \left( \frac{P_t^M}{P_t} M_{i,t} + \frac{W_t}{P_t} N_{i,t} + \frac{r_t^{n,k}}{P_t} K_{i,t}^u \right),$$

Sujeito à restrição tecnológica dada por  $Y_{i,t}^d$  e  $Y_{i,t}$ .  $P_t^M$  denota o preço dos bens importados em moeda doméstica.

No segundo estágio, a firma escolhe os preços correntes encarando em cada período uma probabilidade  $\theta$  de não ajustar seus preços. Seguindo Galí e Gertler (1999), entre as firmas que conseguem ajustar seus preços, existe uma fração  $(1 - \varpi_b)$  que os ajusta de forma ótima (“*forward-looking firms*”), e uma fração  $\varpi_b$  que segue uma regra não ótima (“*backward-looking firms*”).

Usando a restrição da curva de demanda em sua função lucro, o problema das firmas que otimizam pode ser escrito da seguinte forma:

$$\max_{\{P_{i,t}\}} E_t \sum_{j=0}^{\infty} (\theta\beta)^j \Lambda_{t,t+j} \left[ \left( \frac{P_{i,t}}{P_{t+j}} \right)^{1-\xi} Y_{t+j} - MC_{t+j} \left( \frac{P_{i,t}}{P_{t+j}} \right)^{-\xi} Y_{t+j} \right],$$

Onde  $MC_{t+j}$  denota o custo marginal real.

Firmas *backward-looking*, por sua vez, ajustam seus preços de acordo com a seguinte regra:

$$P_t^r = \Pi_{t-1} P_{t-1}^a,$$

Onde  $P_t^r$  denota o preço das firmas *backward-looking*,  $\Pi_t = P_t/P_{t-1}$  é a taxa bruta de inflação,  $P_t^a$  é o preço médio das firmas que ajustam seus preços, o qual é dado pela média ponderada entre os preços *backward* e *forward-looking*:

$$P_t^a = \left[ \varpi_b (P_t^r)^{1-\xi} + (1 - \varpi_b) (P_t^f)^{1-\xi} \right]^{\frac{1}{1-\xi}}.$$

Os preços agregados, por sua vez, evoluem de acordo com uma média ponderada entre preços contemporaneamente ajustados e o nível prévio de preços agregados:

$$P_t = [\theta(P_{t-1})^{1-\xi} + (1-\theta)(P_t^a)^{1-\xi}]^{\frac{1}{1-\xi}}.$$

Firmas montadoras de bens finais vendem parte dos bens montados para o exterior. Por simetria, bens de exportação são usados como insumos no setor produtivo do resto do mundo. Esses bens, no entanto, são bens diferenciados no mercado externo. Seguindo Galí e Monacelli (2005), assume-se um *continuum* de países  $i$ , onde cada país produz um bem diferenciado no mercado global.

A demanda pelas exportações domésticas é dada pelas firmas de importação dos outros países. Cada país tem um *continuum* de firmas importadoras competitivas. A firma de importação representativa do país  $k$  resolve o seguinte problema em moeda local de  $k$  (o problema é análogo ao das montadoras domésticas de bens finais):

$$\max_{\{M_t^k, M_t^{ki}\}} \left\{ P_{k,t}^M M_t^k - \int_0^1 P_t^i M_t^{ki} d_i \right\},$$

Sujeito à

$$M_t^k \equiv \left( \int_0^1 (M_t^{ki})^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} d_i \right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}; \kappa > 1,$$

Onde  $M_t^k$  é a importação agregada do país  $k$ ,  $M_t^{ki}$  são as importações vindas do país  $i$ ,  $P_{k,t}^M$  é o preço agregado das importações,  $P_t^i$  é o nível de preços das importações vindas do país  $i$ .

Usando a condição de primeira ordem correspondente, agregando sobre todos os países  $k$ , e convertendo os preços para uma moeda internacional, obtém-se a demanda pelas exportações domésticas:

$$X_t = \left( \frac{P_t/S_t}{P_t^*} \right)^{-\kappa} M_t^*,$$

Onde  $M_t^*$  são as importações mundiais totais ( $M_t^* \equiv \int_0^1 M_t^k dk$ ), e  $P_t^*$  é o preço das importações mundiais em moeda internacional. Como se está modelando somente a economia doméstica, tratam-se  $M_t^*$  e  $P_t^*$  como processos exógenos. Deste

modo, as exportações domésticas dependem dos seus preços relativos aos preços internacionais e das importações mundiais.

A firma importadora doméstica representativa resolve o mesmo problema. Essa firma compra bens diferenciados do exterior, monta eles e gera um insumo homogêneo, o qual é vendido para produtores monopolisticamente competitivos. Como todas as importações domésticas são insumos da função de produção, a demanda agregada por importações vem das escolhas por insumos dos produtores monopolisticamente competitivos.

Usando as restrições orçamentárias das famílias e do governo e a equação de lucro das firmas, obtém-se a lei de movimento da economia doméstica por posições líquidas em ativos estrangeiros.

$$\frac{S_t B_{t+1}^*}{\Phi_t R_t^*} = S_t B_t^* + NX_t^n,$$

Onde  $NX_t^n$  são as exportações líquidas nominais, definidas como  $NX_t^n \equiv P_t X_t - P_t^M M_t$ .

O prêmio de risco da condição da paridade descoberta da taxa de juros (UIP) é estabelecida como uma função da posição líquida em ativos estrangeiros, da disposição dos investidores internacionais em tomarem risco  $z_t^{\phi^*}$ , e de um choque específico no prêmio de risco país  $Z_t^{\phi}$ :

$$\Phi_t = \psi' \left( \exp^{-\psi \left( \frac{S_t B_{t+1}^* - SB}{P_t Y_t - PY} \right) + \nu z_t^{\phi^*} + Z_t^{\phi}} \right), \psi > 0.$$

Onde  $\frac{SB}{PY}$  é o nível de *steady state* da posição líquida em ativos estrangeiros. Assume-se que  $z_t^{\phi^*}$  e  $Z_t^{\phi}$  seguem um processo AR(1).

Define-se o PIB valor-adicionado de acordo com o sistema das Contas Nacionais:

$$P_t^{VA} Y_t^{VA} \equiv P_t Y_t - P_t^M M_t,$$

Onde  $P_t^{VA}$  denomina o preço do valor adicionado (correspondente ao deflator do PIB nas contas nacionais).

Assume-se que o instrumento fiscal é o gasto do governo (como proporção do PIB). A regra fiscal reflete o regime fiscal em curso desde a implementação do regime

de metas para inflação no Brasil. A autoridade fiscal é comprometida em atingir as metas anunciadas de superávit primário (como proporção do PIB) assim como em estabilizar a dívida pública em relação ao PIB. A regra fiscal é especificada da seguinte maneira:

$$\frac{P_t^g G_t}{P_t^{VA} Y_t^{VA}} = \gamma_g \frac{P_{t-1}^g G_{t-1}}{P_{t-1}^{VA} Y_{t-1}^{VA}} + (1 - \gamma_g) \left[ \gamma_s \left( \frac{S_{t-1}^g}{P_{t-1}^{VA} Y_{t-1}^{VA}} - \overline{\frac{S_{t-1}^g}{P_{t-1}^{VA} Y_{t-1}^{VA}}} \right) - \gamma_b (B_t^y - B^y) + \frac{P^g G}{P^{VA} Y^{VA}} \right] + z_t^g$$

Onde  $G_t$  são os gastos do governo medidos em bens finais,  $S_t^g$  é o superávit primário,  $\frac{S_{t-1}^g}{P_{t-1}^{VA} Y_{t-1}^{VA}}$  é a meta de superávit primário (como proporção do PIB),  $B_t^y$  é definido como a taxa da dívida em relação ao PIB  $\left( \frac{B_t}{P_{t-1}^{VA} Y_{t-1}^{VA}} \right)$ , e  $z_t^g$  é um choque nos gastos governamentais. O superávit primário é dado por:

$$S_t^g \equiv TAX_t^n - P_t G_t,$$

Onde  $TAX_t^n$  é a receita nominal líquida do governo.

Rearranjando os termos da regra fiscal, é possível reescrevê-la da seguinte maneira:

$$\begin{aligned} & \left( \frac{P_t^g G_t}{P_t^{VA} Y_t^{VA}} - \frac{P^g G}{P^{VA} Y^{VA}} \right) \\ &= \gamma_g \left( \frac{P_{t-1}^g G_{t-1}}{P_{t-1}^{VA} Y_{t-1}^{VA}} - \frac{P^g G}{P^{VA} Y^{VA}} \right) \\ &+ (1 - \gamma_g) \left[ \gamma_s \left( \frac{S_{t-1}^g}{P_{t-1}^{VA} Y_{t-1}^{VA}} - \overline{\frac{S_{t-1}^g}{P_{t-1}^{VA} Y_{t-1}^{VA}}} \right) - \gamma_b (B_t^y - B^y) \right] + z_t^g. \end{aligned}$$

No modelo  $P_t^g = P_t$ . Assume-se que as receitas dos tributos são uma função do PIB nominal, como segue:

$$TAX_t^n = \tau^y P_t^{VA} Y_t^{VA}.$$

Sendo assim:

$$\frac{TAX_t^n}{P_t^{VA} Y_t^{VA}} = \tau^y \Rightarrow tax_t^y = \frac{TAX_t^n}{P_t^{VA} Y_t^{VA}} - \frac{TAX^n}{P^{VA} Y^{VA}} = 0.$$

Assume-se que o déficit do governo é financiado somente via dívida doméstica, isto é, o governo emite apenas dívida para agentes domésticos. A restrição orçamentária do governo é dada por:

$$\frac{B_{t+1}}{R_t} + TAX_t^n = P_t G_t + B_t.$$

A condição de equilíbrio de mercado para os bens finais da economia é dada por:

$$Y_t = C_t + I_t + G_t + X_t$$

Onde  $Y_t$  é o produto bruto porque inclui os bens de importação. Nesta economia as importações compreendem apenas insumos da função de produção. Ainda mais, recursos relacionados ao ajustamento de capital são bens de investimento; de modo que esses não aparecem como termos separados. Vale lembrar que o valor adicionado nesta economia, correspondente à definição do PIB nos dados, fora definido acima como  $Y_t^{VA}$ .

### 3.2 Modelo Linear

As condições ótimas e as restrições do modelo formam um sistema de equações em diferenças não-linear, de modo que o sistema não possui solução analítica fechada. Então, o sistema de equações do modelo é aproximado ao redor de um ponto dado (que é um *steady state* não estocástico) por meio do método de log-linearização de Uhlig (1999). A conversão do modelo não-linear leva a uma suficiente aproximação linear cujas soluções são úteis para entender o comportamento do subjacente sistema não-linear.

Letras minúsculas denominam as variáveis log-linearizadas ao redor do *steady state*. O processo é dado da seguinte maneira: Reescreve-se  $X_t$  como  $X_t = e^{\tilde{X}_t} X$ , onde  $\tilde{X}_t = \ln X_t - \ln X$ . Em seguida realiza-se uma expansão de Taylor de primeira ordem ao redor do ponto  $\tilde{X}_t = 0$ , obtendo-se  $x_t$ , isto é, a variável expressa na vizinhança do *steady state* determinístico.

Consumo das famílias *Optimizing*:

$$c_t^o = \left(\frac{1}{1+h}\right) E_t(c_{t+1}^o) + \left(\frac{h}{1+h}\right) c_{t-1}^o - \frac{1}{\sigma} \left(\frac{1-h}{1+h}\right) E_t(r_t - \pi_{t+1}) + \frac{1}{\sigma} \left(\frac{1-h}{1+h}\right) (1 - \rho_c) z_t^c$$

Consumo das famílias *rule-of-thumb*:

$$c_t^{rot} = w_t^r + n_t^{rot}$$

Consumo Agregado:

$$c_t = (1 - \varpi_c)c_t^o + \varpi_c c_t^{rot}$$

Oferta de trabalho das famílias *Optimizing*:

$$n_t^o = \frac{1}{\eta} \left[ w_t^r - \frac{\sigma}{1-h} (c_t^o - h c_{t-1}^o) - z_t^n \right]$$

Oferta de trabalho das famílias *rule-of-thumb*:

$$n_t^{rot} = \frac{1}{\eta} \left[ w_t^r - \frac{\sigma}{1-h} (c_t^{rot} - h c_{t-1}^{rot}) - z_t^n \right]$$

Oferta de trabalho agregada:

$$n_t = (1 - \varpi_n)n_t^o + \varpi_n n_t^{rot}$$

Condição da Paridade descoberta dos Juros:

$$q_t = E_t q_{t+1} - [(r_t - E_t \pi_{t+1}) - (r_t^* + \phi_t - E_t \pi_{t+1}^*)]$$

Demanda Agregada por Trabalho:

$$n_t = y_t - (1 - \varrho)a_t - [\varrho + \alpha(1 - \varrho)]w_t^r + \alpha(1 - \varrho)r_t^k + \varrho m c_t$$

Demanda Agregada pelos serviços de capital:

$$k_t + u_t = y_t - (1 - \varrho)a_t - (1 - \alpha(1 - \varrho))\widehat{r}_t^k + (1 - \varrho)(1 - \alpha)w_t^r + \varrho m c_t$$

Prêmio de Risco:

$$\phi_t = -\psi b_{t+1}^{y^*} + \nu z_t^{\phi^*} + z_t^\phi$$

Equação *Euler* do Capital:

$$q_t^I = E_t \beta (1 - \delta) q_{t+1}^I + (1 - \beta(1 - \delta))\widehat{r}_{t+1}^k - (r_t - \pi_{t+1})$$

Equação *Euler* do investimento:

$$i_t = \frac{1}{\delta_s(1 + \beta)} q_t^I + \frac{\beta}{1 + \beta} E_t i_{t+1} + \frac{1}{1 + \beta} i_{t-1} + \left( \frac{1 - \rho_I \beta}{1 + \beta} \right) z_t^I$$

Lei de movimento do capital:

$$k_{t+1} = (1 - \delta)k_t + \left( \frac{I}{K} \right) i_t$$

Equação das exportações:

$$x_t = m_t^* + \kappa q_t$$

Equação das Importações:

$$m_t = y_t - \varrho(q_t - m c_t)$$

Utilização do capital:

$$\widehat{r}_t^k = \delta_a u_t$$

Custo Marginal Real:

$$mc_t = s_d \left[ \alpha \widehat{r_t^k} + (1 - \alpha) w_t^r - a_t \right] + (1 - s_d) q_t$$

Curva de Phillips:

$$\pi_t = \lambda mc_t + \lambda_b \pi_{t-1} + \lambda_f E_t \pi_{t+1}$$

Onde as formas reduzidas dos parâmetros da curva de Phillips são dadas por:

$$\lambda \equiv \frac{(1 - \theta\beta)(1 - \omega_b)(1 - \theta)}{\theta + \omega_b(1 - \theta(1 - \beta))}$$

$$\lambda_b \equiv \frac{\omega_b}{\theta + \omega_b(1 - \theta(1 - \beta))}$$

$$\lambda_f \equiv \frac{\theta\beta}{\theta + \omega_b(1 - \theta(1 - \beta))}$$

Lei de movimento dos ativos estrangeiros (líquidos, como proporção do PIB):

$$b_{t+1}^{y*} = \Phi R^* \left[ b_t^{y*} + nx_t^y + B^{y*} \left( y_{t-1}^{VA} - y_t^{VA} + \frac{1}{s_{va}} (q_t - q_{t-1}) - \pi_t^* \right) \right] + B^{y*} (\phi_t + r_t^*)$$

Exportações líquidas (como proporção do PIB):

$$nx_t^y = \frac{s_x}{s_{va}} x_t - \frac{s_m}{s_{va}} m_t - \frac{s_x - s_m}{s_{va}} y_t^{VA} - \frac{s_m}{s_{va}} \left( \frac{1 - s_x}{s_{va}} \right) q_t$$

Regra de Política Fiscal (variáveis expressas como proporções do PIB):

$$g_t^y = \gamma_g g_{t-1}^y + (1 - \gamma_g) \left( \gamma_s \widehat{s_{t-1}^y} - \gamma_b b_t^y \right) + z_t^g$$

Superávit Primário:

$$\widehat{s_t^y} + \overline{s_t^y} = -g_t^y$$

Dívida do Governo (Como uma proporção do PIB):

$$b_{t+1}^y = R \left[ b_t^y + g_t^y - B^y (y_t^{VA} - y_{t-1}^{VA} + \pi_t^{VA}) \right] + B^y r_t$$

Gastos do Governo:

$$g_t = y_t^{VA} + \left( \frac{s_{va}}{s_g} \right) g_t^y - \left( \frac{s_m}{s_{va}} \right) q_t$$

Condição de equilíbrio de mercado para os bens finais – Produto Bruto:

$$y_t = s_c c_t + s_i i_t + s_g g_t + s_x x_t$$

Onde  $s_c \equiv \frac{C}{Y}$ ,  $s_i \equiv \frac{I}{Y}$ ,  $s_g \equiv \frac{G}{Y}$  e  $s_x \equiv \frac{X}{Y}$  são as taxas de *steady-state* em relação ao produto bruto do consumo, do investimento, dos gastos do governo e das exportações.

Produto em termos do valor adicionado:

$$y_t^{VA} = \frac{1}{s_{va}} y_t - \frac{s_m}{s_{va}} m_t$$

Onde  $s_{va} \equiv \frac{Y^{VA}}{Y}$  e  $s_m \equiv \frac{M}{Y}$

Inflação do Valor Adicionado (deflator do PIB):

$$\pi_t^{VA} = \pi_t - \frac{S_m}{S_{va}} (q_t - q_{t-1})$$

Todas as variáveis exógenas e choques são modelados como processos AR (1), conforme segue:

Meta Fiscal:

$$\bar{s}_t^g = \rho_{\bar{s}} \bar{s}_{t-1}^g + \varepsilon_t^{\bar{s}}$$

Preferência das Famílias:

$$z_t^c = \rho_c z_{t-1}^c + \varepsilon_t^c$$

Oferta de Trabalho:

$$z_t^n = \rho_n z_{t-1}^n + \varepsilon_t^n$$

Choque nos investimentos

$$z_t^I = \rho_I z_{t-1}^I + \varepsilon_t^I$$

Aversão ao risco do investidor estrangeiro:

$$z_t^{\phi^*} = \rho_{\phi^*} z_{t-1}^{\phi^*} + \varepsilon_t^{\phi^*}$$

Prêmio de Risco País:

$$z_t^{\phi} = \rho_{\phi} z_{t-1}^{\phi} + \varepsilon_t^{\phi}$$

Tecnologia:

$$a_t = \rho_a a_{t-1} + \varepsilon_t^a$$

Política Fiscal:

$$z_t^g = \rho_g z_{t-1}^g + \varepsilon_t^g$$

Importações do Resto do Mundo:

$$m_t^* = \rho_{m^*} m_{t-1}^* + \varepsilon_t^{m^*}$$

Inflação do Resto do Mundo:

$$\pi_t^* = \rho_{\pi^*} \pi_{t-1}^* + \varepsilon_t^{\pi^*}$$

## Taxa de Juros do Resto do Mundo

$$r_t^* = \rho_{r^*} r_{t-1}^* + \varepsilon_t^{r^*}$$

### 3.3 Estimação dos Parâmetros Estruturais

A solução do modelo pode facilmente ser levada aos dados. Sob a suposição de que os choques possuem distribuição Normal, e dada a linearidade do sistema, a solução em expectativas racionais pode ser pareada às equações observáveis  $OBS_t = J_0 + J_1 X_t$ , e a função de verossimilhança pode ser computada utilizando filtro de Kalman<sup>18</sup>. Enquanto que o modelo, nesse ponto, pode ser estimado com métodos clássicos, como máxima verossimilhança<sup>19</sup>, o *approach* dominante na literatura é a estimação do modelo usando técnicas de *Inferência Bayesiana*. A estimação Bayesiana gera desenhos da distribuição *posteriori*, usando métodos MCMC (*Markov Chain Monte Carlo*), com a verossimilhança sendo obtida a cada desenho simulado da *posteriori* através do filtro de Kalman. No caso de modelos DSGE, o procedimento MCMC comumente escolhido é o algoritmo *random-walk Metropolis-Hastings*.

Optou-se por não estimar o modelo novamente, uma vez que já fora estimado por Minella *et al.* (2008) e é considerado um *benchmark* entre os modelos DSGE representativos da economia brasileira. O modelo fora estimado por esses autores usando a plataforma *Dynare*, com técnicas Bayesianas. O período da amostra é trimestral e cobre o regime de metas de inflação até pouco antes da crise financeira internacional de 2008 (1999:2 até 2007:4). Sendo assim, são 35 períodos para estimar ou calibrar 62 parâmetros. Utilizaram-se 25 variáveis como observáveis: PIB, consumo privado, investimento, consumo do governo, exportações, importações, emprego, estoque de capital físico, salário real, taxa de câmbio efetiva real, taxa de utilização da capacidade, taxa de juros SELIC, inflação IPCA, metas de inflação, taxa da dívida externa líquida em relação ao PIB, taxa das exportações líquidas em relação ao PIB, taxa de superávit primário em relação ao PIB, meta da taxa de superávit primário em relação ao PIB, taxa da dívida líquida geral do governo em relação ao PIB, PIB mundial (principais parceiros comerciais), inflação dos E.U.A, taxa de fundos do FED, Ravi (*risk aversion index*). Todas as séries tiveram suas tendências

<sup>18</sup> O vetor  $J_0$  tipicamente contém parâmetros de steady state, enquanto que  $J_1$  é uma matriz selecionada que relaciona as séries observadas às variáveis correspondentes no modelo estrutural.

<sup>19</sup> Apenas modelos relativamente simples podem de fato serem estimados por máxima verossimilhança, a menos que restrições aos limites dos parâmetros sejam assumidas.

removidas com o filtro HP. Inflação e taxa de juros são expressas como taxas trimestrais. 22 parâmetros foram calibrados. 15 deles são relações de *steady state*, os quais foram calibrados usando a média sobre o período amostral. 40 parâmetros foram estimados.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Solução do Modelo

O exercício deste trabalho utiliza um modelo representativo da economia brasileira, estimado por Minella *et al.* (2008), para analisar e comparar características e performances de regras simples que a autoridade monetária pode adotar para ajustar movimentos da taxa básica de juros. Sete regras simples de política monetária – que respondem a poucas variáveis e poucos *leads* e *lags* – são incluídas no modelo como sendo o comportamento sistemático<sup>20</sup> da autoridade monetária no estabelecimento dos juros. Cada uma dessas regras é otimizada para diminuir as volatilidades da taxa de inflação, do *gap* do PIB e das variações dos juros, de modo a diminuir a instabilidade macroeconômica. A partir das regras otimizadas dentro de um ambiente representativo da economia brasileira, objetiva-se investigar suas características e suas performances em estabilizar o produto, a inflação e as variações da taxa de juros, diante de choques exógenos estocásticos. Como resultados são apresentados e discutidos os coeficientes otimizados das regras consideradas, as variações das funções objetivo sob cada uma das regras otimizadas e as respostas do produto, da inflação e das variações dos juros à simulações estocásticas de 9 choques exógenos, para um período de 10 anos, sob cada uma das regras otimizadas.

Cada regra de política monetária é inserida no modelo como a função que a autoridade monetária usa para estabelecer a taxa básica de juros. A regra da taxa de juros é uma função determinística de variáveis endógenas do modelo. Uma única regra é inserida no modelo e este é computacionalmente resolvido para obter suas *policy functions*; o processo é repetido para cada uma das regras consideradas. Sob a hipótese de expectativas racionais, o modelo estrutural linearizado na vizinhança do *steady state* juntamente com os processos dos choques pode ser reescrito em sua forma *State Space* como:

$$AX_t = BX_{t-1} + CU_t + DH_t \quad (1)$$

Onde

---

<sup>20</sup> No processo do exercício, a variável taxa de juros é endogenamente determinada e seu comportamento (sua função) não possui choques exógenos estocásticos o que torna a *reação* da autoridade monetária deterministicamente antecipada pelos agentes com expectativas racionais.

$$X_t = [\Gamma_t, \Xi_t, \varepsilon_t]'$$

$$\Gamma_t = \left[ c_t^o, c_t^{rot}, c_t, n_t^o, n_t^{rot}, n_t, q_t, w_t^r, k_t, u_t, \phi_t, q_t^l, i_t, x_t, m_t, \widehat{r}_t^k, mc_t, \pi_t, b_{t+1}^{y*}, nx_t^y, g_t^y, \widehat{s}_t^y, \dots \right]'$$

$$\dots b_{t+1}^y, g_t, y_t, y_t^{VA}, \pi_t^{VA}$$

$$\Xi_t = [E_t c_{t+1}^o, E_t \pi_{t+1}, E_t q_{t+1}, E_t \pi_{t+1}^*, E_t q_{t+1}^l, E_t \widehat{r}_{t+1}^k, E_t I_{t+1}]'$$

$$\varepsilon_t = [\bar{s}_t^g, z_t^c, z_t^n, z_t^i, z_t^{\phi^*}, z_t^\phi, a_t, z_t^g, m_t^*, \pi_t^*, r_t^*]'$$

$$U_t = [\varepsilon_t^{\bar{s}}, \varepsilon_t^c, \varepsilon_t^n, \varepsilon_t^i, \varepsilon_t^{\phi^*}, \varepsilon_t^\phi, \varepsilon_t^a, \varepsilon_t^g, \varepsilon_t^{m^*}, \varepsilon_t^{\pi^*}, \varepsilon_t^{r^*}]'$$

$$H_t = [H_t^{c^o}, H_t^\pi, H_t^q, H_t^{\pi^*}, H_t^{q^l}, H_t^{\widehat{r}^k}, H_t^I]'$$

Onde  $X_t$  denota o vetor de estado do sistema; o qual inclui as variáveis endógenas do modelo coletadas em  $\Gamma_t$ , os termos expectacionais  $\Xi_t$ , e os distúrbios estruturais  $\varepsilon_t$ . O vetor  $U_t$  inclui as inovações *i.i.d* e o vetor  $H_t$  inclui os erros expectacionais, definidos como  $H_t^x = x_t - E_{t-1}x_t$ , com a propriedade de que  $E_t H_{t+1} = 0$ .  $A, B, C$  e  $D$  são funções lineares dos parâmetros estruturais.

A solução do modelo é baseada em uma decomposição de Schur generalizada – também conhecida como decomposição QZ – e é uma variação dos métodos apresentados em Klein (2000), Sims (2002) e Uhlig (1999). A solução do modelo é realizada computacionalmente através da plataforma Dynare. Villemot (2011) descreve em detalhes o algoritmo implementado no Dynare para computar as soluções. Sucintamente, existe uma única solução estável se existe um mapa de um para um entre os erros expectacionais e os choques estruturais. Os erros expectacionais são encontrados a partir de:

$$C^* U_t + D^* H_t = 0$$

Onde  $C^*$  e  $D^*$  são matrizes transformadas com vetores linha correspondentes aos autovalores instáveis do sistema. Uma vez que o equilíbrio existe e é único, o *approach* implica na solução de expectativas racionais:

$$X_t = F X_{t-1} + G U_t \quad (2)$$

Ou de forma análoga, uma vez que os agentes possuem expectativas racionais:

$$E_t X_{t+1} = F X_t + G U_{t+1} \quad (3)$$

Onde apenas os choques exógenos  $U_t$  são a fonte de aleatoriedade na economia; os elementos nas matrizes  $F$  e  $G$  são complicadas funções não lineares dos parâmetros do modelo original. Na solução as variáveis endógenas do modelo são as respostas ótimas dos agentes econômicos considerados pelo modelo<sup>21</sup>.

## 4.2 Função Objetivo do Banco Central

Similar à Taylor (1979), Rotemberg e Woodford (1999), Levin, Wieland e Williams (1999, 2003), Williams (2003), Taylor e Williams (2010), e Taylor e Wieland (2012), assume-se que o objetivo do Banco Central é minimizar a soma das variâncias incondicionais da taxa de inflação, do *gap* do produto e das variações da taxa básica de juros. A função perda é definida da seguinte maneira<sup>22</sup>:

$$\text{Função Objetivo} = \text{Var}(\pi) + \text{Var}(y^{gap}) + \text{Var}(\Delta r)$$

Onde  $\text{Var}(\pi)$  é a variância incondicional da taxa anual de inflação,  $\text{Var}(y^{gap})$  é a variância incondicional do *gap* do produto<sup>23</sup> e  $\text{Var}(\Delta r)$  é a variância incondicional de variações na taxa básica de juros. A inclusão da volatilidade das variações dos juros intenta capturar a tendência observada dos bancos centrais em ajustar a taxa de juros apenas gradualmente em resposta a mudanças nas condições econômicas [Woodford (1999)]<sup>24</sup>.

<sup>21</sup> A percepção dos agentes no ambiente estocástico é análoga à uma situação de equivalente certeza. Neste contexto, as respostas ótimas dos agentes são especificações de regras de feedback para o futuro. Desse modo, os agentes especificam uma resposta ótima contingente a cada possível realização de cada possível choque; os quais somente as distribuições de probabilidade são conhecidas.

<sup>22</sup> Assim como em Taylor (1979), Levin, Wieland e Williams (1999, 2003), Williams (2003), Taylor e Williams (2010), e Taylor e Wieland (2012), a função perda considerada aqui é uma função *ad hoc*. Sem  $\text{Var}(\Delta r)$ , esta forma de função perda é similar à derivada em Rotemberg e Woodford (1999), obtida por uma aproximação de segunda ordem da utilidade das famílias de um pequeno modelo Novo-Keynesiano. A derivação baseada na utilidade permite que sejam atribuídos pesos específicos aos componentes da função perda. Aqui é atribuído peso unitário para cada component da função perda.

<sup>23</sup> O *gap* do produto é definido da seguinte maneira:  $y_t^{gap} = y_t - y_t^{va}$ .

<sup>24</sup> De acordo com Taylor e Wieland (2012), em adição à tentativa de capturar a tendência de bancos centrais em suavizar a taxa de juros, a inclusão da variação dos juros tende a evitar valores extremos

Para obter o segundo momento incondicional de uma variável  $x$ ,  $\text{Var}(x)$ , onde  $x$  é um particular elemento de  $X$  – precisamente de  $\Gamma$  em **(1)** – é necessário realizar uma simulação estocástica do modelo, isto é, um desenho aleatório dos choques sobre as respostas ótimas dos agentes. Considerando como período inicial o *steady state*, onde  $U_t = E_t U_{t+1} = 0$ , em **(2)** ou **(3)**, são realizadas  $t$  simulações recursivas a partir de um desenho aleatório da distribuição Normal de todos os componentes de  $U_t$  (os choques *i.i.d* do modelo). Os momentos de  $x$  são obtidos a partir das simulações realizadas. As simulações estocásticas foram realizadas para 40 períodos (40 trimestres), utilizando a plataforma Dynare. O Dynare computa as estatísticas descritivas a partir da solução estocástica do modelo usando técnicas de perturbação, mais precisamente, são computadas aproximações de Taylor das funções de decisão e de transição do modelo. Detalhes da implementação da simulação estocástica podem ser encontrados em Villemot (2011).

Dado o ambiente econômico modelado, o Banco Central entra no modelo na qualidade de autoridade monetária. Considera-se no presente trabalho que a taxa de juros, e não a oferta de moeda, é o instrumento de política monetária. De acordo com uma regra pré-estabelecida, a autoridade monetária determina a taxa básica de juros da economia,  $r_t$ . A variável  $r_t$  é inserida no modelo em  $\Gamma_t$  estabelecida como uma função de reação à variáveis específicas abarcadas pelo modelo; enquanto que os parâmetros dessa função entram em suas respectivas matrizes de parâmetros estruturais. Essa função de reação então estabelecida é a regra de política monetária adotada. As implicações da regra de política monetária para a dinâmica do modelo podem ser observadas pelas presenças de  $r_t$  nas demais equações do modelo log-linearizadas ao redor do *steady state* determinístico.

### 4.3 Algoritmo de Minimização

Para ilustrar o processo de otimização da regra de política monetária, considera-se a seguinte regra genérica:

$$r_t = \rho r_{t-1} + \alpha \pi_t + \beta_0 y_t^{gap}$$

---

dos coeficientes otimizados, que seriam distantes de observações empíricas e acabam por violar a restrição de não-negatividade da taxa de juros.

A variável  $r_t$  é incluída no vetor  $\Gamma_t$  e os parâmetros  $(\rho, \alpha, \beta_0)$  nos seus devidos lugares das matrizes A e B. Para otimizar a regra de política monetária os parâmetros  $(\rho, \alpha, \beta_0)$  são escolhidos de modo a minimizar a função objetivo apresentada.

O interesse está na performance “média”, de longo prazo, das políticas monetárias. Sendo assim, são computados os momentos incondicionais que correspondem aos resultados de simulações estocásticas realizadas para 40 períodos (40 trimestres = 10 anos).

Depois de escolhida uma função de política monetária, o processo de minimização começa com um contador que atualiza iterativamente os parâmetros da regra de política monetária, nas matrizes A e B de **(1)**. Considerando um chute inicial para os parâmetros, uma simulação estocástica do modelo é realizada<sup>25</sup>, momentos incondicionais das respostas ótimas são computados e a função objetivo é calculada. Esse algoritmo iterativamente atualiza os valores dos parâmetros da regra de política monetária até que um ponto ótimo – global, dado o *setup* considerado – seja obtido. Desse modo, para determinar parâmetros otimizados de regras de políticas monetária é necessário realizar centenas ou até milhares de simulações estocásticas de soluções em expectativas racionais para valores alternativos desses parâmetros para cada regra adotada<sup>26</sup>.

O algoritmo de minimização utilizado fora escrito<sup>27</sup> no *software* MatLab R2013a. O algoritmo começa definindo a função objetivo a partir de um vetor com o *label* das variáveis que o compõem. São definidos também os parâmetros a serem otimizados a partir de um vetor com seus *labels* e com os respectivos intervalos de valores possíveis. Após estas definições, uma simulação estocástica é realizada e são salvas as localizações das matrizes e vetores que contém todas as variáveis endógenas e exógenas, parâmetros, choques e respostas ótimas obtidas a partir da simulação estocástica do modelo. Em seguida, as localizações das variáveis da função objetivo são devidamente associadas aos valores da matriz de momentos incondicionais das respostas ótimas. São estabelecidos valores iniciais para os parâmetros e é iniciado um contador que percorre o intervalo de valores possíveis estipulados para os

<sup>25</sup> A simulação estocástica é realizada utilizando a plataforma Dynare.

<sup>26</sup> A rotina não fora construída para informar o número exato de simulações estocásticas realizadas para encontrar a regra otimizada. No entanto, os custos computacionais são relativamente baixos.

<sup>27</sup> O autor agradece a Volker Wieland, que gentilmente cedeu os códigos que foram ajustados e adaptados para o exercício deste trabalho.

parâmetros a serem otimizados. Para cada valor que o contador estabelece para os parâmetros uma simulação estocástica é realizada e o valor da função objetivo é calculado a partir das variáveis alvo da matriz de momentos incondicionais da resposta ótima da simulação. A partir do contador, o algoritmo percorre o intervalo estabelecendo valores para os parâmetros, realizando simulações estocásticas e calculando os valores dos momentos incondicionais das respostas ótimas até que a função objetivo seja minimizada. A função do MatLab R2013a, “*fmincon*”, é utilizada para que o contador percorra o intervalo de valores dos parâmetros e minimize a função objetivo. A função *fmincon* encontra mínimos restritos de uma função escalar de várias variáveis começando em um ponto inicial; geralmente é referenciada como otimização não-linear restrita ou programação não-linear. Foram testados diferentes chutes iniciais e não houve alteração nos resultados. De fato, o algoritmo percorre todo o intervalo pré-estabelecido para os parâmetros, de modo que não há alteração no mínimo encontrado da função objetivo quando o contador começa de posições distintas no mesmo intervalo. O que pode alterar o resultado é a especificação dos intervalos pelo qual o algoritmo percorre. No presente trabalho o intervalo adotado foi [-30, +30] para todos os parâmetros a serem otimizados. O grid do contador foi de quatro casas decimais. Os custos computacionais são relativamente baixos, com uma regra de política monetária sendo otimizada em cerca de 5 minutos.

#### 4.4 Regras Consideradas

Para investigar as características e performances comparativas de distintas regras simples otimizadas de política monetária são otimizadas 6 regras. Nas regras que seguem, as variáveis são as abarcadas pelo modelo;  $r_t$  é a taxa básica de juros corrente,  $\pi_t$  é a taxa de inflação corrente trimestral anualizada,  $\bar{\pi}_t$  é a meta de inflação trimestral anualizada<sup>28</sup> e  $y_t^{gap}$  é o *gap* do produto corrente.

As regras simples aqui consideradas respondem a poucas variáveis, possuindo três ou quatro parâmetros de resposta. Williams (2003) mostrou que, mesmo em modelos de larga-escala, adicionar respostas a outras variáveis, *lags* ou *leads* adicionais às regras de três (ou quatro) parâmetros levam no máximo a ganhos triviais

---

<sup>28</sup> Como pode ser observado nas equações log-linearizadas do modelo de Minella *et al.* (2008), a meta de inflação segue um processo AR(1) estacionário.

em termos de estabilização macroeconômica. Autores que obtiveram resultados semelhantes a Williams (*ibid*) foram Rudebusch e Svensson (1999), Levin e Williams (2003) e Levin, Wieland e Williams (1999).

A primeira regra considerada é a regra original do modelo de Minella *et al.* (2008) que considera expectativas futuras de desvios em relação a uma meta de inflação, adaptada para a otimização<sup>29</sup>:

$$r_t = \rho r_{t-1} + \alpha E_t(\pi_{t+1} - \bar{\pi}_{t+1}) + \bar{\pi}_t + \beta_0 y_t^{gap}$$

A segunda regra considera expectativas de um ano a frente do *gap* do produto e da inflação. Com exceção do componente de inércia, é uma regra *forward-looking*. É uma regra adaptada (para incluir  $r_{t-1}$ ) de Orphanides e Wieland (2008):

$$r_t = \rho r_{t-1} + \alpha E_t \pi_{t+4} + \beta_0 E_t y_{t+4}^{gap}$$

A terceira regra considerada modifica a segunda reduzindo o horizonte das expectativas futuras para três trimestres a frente:

$$r_t = \rho r_{t-1} + \alpha E_t \pi_{t+3} + \beta_0 E_t y_{t+3}^{gap}$$

A quarta regra modifica a terceira incluindo o *gap* do produto defasado no intuito de responder à taxa de crescimento médio desta variável:

$$r_t = \rho r_{t-1} + \alpha E_t \pi_{t+3} + \beta_0 E_t y_{t+3}^{gap} + \beta_1 y_{t-3}^{gap}$$

A quinta regra modifica a terceira incluindo uma resposta à inflação corrente:

$$r_t = \rho r_{t-1} + \alpha \pi_t + \beta_0 E_t \pi_{t+3} + \beta_1 E_t y_{t+3}^{gap}$$

A sexta regra exclui as variáveis *forward-looking* e responde somente à variáveis correntes e defasada. É a Regra de Levin, Wieland e Williams (1999, 2003):

$$r_t = \rho r_{t-1} + \alpha \pi_t + \beta_0 y_t^{gap}$$

---

<sup>29</sup> A regra original do modelo de Minella *et al.* (2008) considera uma média ponderada entre o *lag* da taxa de juros e as respostas das demais variáveis; ou seja, uma restrição *ad hoc* ao parâmetro de persistência. Quando otimizada a regra com essa média ponderada o algoritmo de otimização se perde e os valores dos parâmetros otimizados disparam obtendo uma função perda relativamente grande. Possivelmente não há um ponto de ótimo quando essa regra é adotada. Sendo assim, a regra original foi adaptada no sentido de retirar a média ponderada e deixar o parâmetro de persistência livre para ser otimizado.

A sétima regra expande a sexta incluindo o *gap* do produto defasado, com o objetivo de responder à taxa de crescimento do *gap* do produto. É a Regra de Smets e Wouters (2007):

$$r_t = \rho r_{t-1} + \alpha \pi_t + \beta_0 y_t^{gap} + \beta_1 y_{t-1}^{gap}$$

Importante frisar que em nenhuma das regras consta algum termo estocástico, isto é, as regras são completamente determinísticas refletindo o comportamento sistemático, e conhecido por todos os agentes do modelo, da autoridade monetária. A razão deve-se ao objetivo normativo do presente trabalho, que não visa representar o comportamento empírico do banco central e suas opacidades e desvios até então observados, mas sim verificar qual regra otimizada apresenta a melhor performance dentro do ambiente considerado. E para performar bem, no sentido de minimizar a volatilidade da economia diante de choques exógenos estocásticos, a política monetária não deve causar seus próprios choques. Desse modo, supõe-se que a autoridade monetária, ao adotar determinada regra, irá segui-la na risca, sem nenhum movimento aleatório que surpreenda os agentes. Dito de outra maneira, sugere-se que a autoridade monetária não persiga nenhum objetivo particular senão com seu papel econômico de tornar o horizonte de planejamento estável para que os agentes possam tomar suas melhores decisões.

## 5. RESULTADOS

Os parâmetros de cada regra de política monetária  $(\rho, \alpha, \beta_0, \beta_1)$  são escolhidos de modo a minimizar a já apresentada função objetivo:

$$\text{Função Objetivo} = \text{Var}(\pi) + \text{Var}(y^{gap}) + \text{Var}(\Delta r)$$

As regras quando otimizadas tornam-se:

$$\text{Regra Original Otimizada: } r_t = 1.14r_{t-1} + 1.18E_t(\pi_{t+1} - \bar{\pi}_{t+1}) + \bar{\pi}_t + 0.11y_t^{gap}$$

$$\text{Regra com equilíbrio indeterminado: } r_t = n.dr_{t-1} + n.dE_t\pi_{t+4} + n.dE_ty_{t+4}^{gap}$$

$$\text{Regra 1 Otimizada: } r_t = 1.42r_{t-1} + 2.01E_t\pi_{t+3} + 0.29E_ty_{t+3}^{gap}$$

$$\text{Regra 2 Otimizada: } r_t = 1.32r_{t-1} + 2.33\pi_{t+3} - 5.31E_ty_{t+3}^{gap} + 6.14y_{t-3}^{gap}$$

$$\text{Regra 3 Otimizada: } r_t = 1.16r_{t-1} + 1.03\pi_t + 0.41E_t\pi_{t+3} + 0.27E_ty_{t+3}^{gap}$$

$$\text{Regra L.W.W Otimizada: } r_t = 1.10r_{t-1} + 1.08\pi_t + 0.22y_t^{gap}$$

$$\text{Regra S.W Otimizada: } r_t = 1.10r_{t-1} + 1.08\pi_t + 2.37y_t^{gap} - 2.32y_{t-1}^{gap}$$

Salienta-se que na regra sugerida com expectativas de um ano a frente da inflação e do *gap* do produto não fora possível a determinação do equilíbrio em seu processo de otimização. Quando adotada esta regra, o algoritmo de minimização dispara indicando a indeterminação do equilíbrio da solução do modelo. Levin, Wieland e Williams (2003) mostram que regras que respondem à previsão prolongada no futuro da inflação tendem a gerar indeterminância em modelos com expectativas racionais.

O primeiro resultado interessante, com relação às características das regras otimizadas, é o fato de todas as regras otimizadas possuírem um elevado grau de inércia, sugerindo uma memória longa e movimentos suaves na taxa de juros frente a choques exógenos estocásticos; uma vez que a função de reação da taxa de juros é determinística e sua lei de movimento é bem “encadeada” devido ao elevado componente autorregressivo. Importante ressaltar que, como mencionado anteriormente, supõe-se que não há nenhum componente estocástico nas formas funcionais das regras de política monetária, isto é, não há movimentos aleatórios na taxa de juros. Sendo a taxa de juros completamente determinística, o parâmetro de persistência maior que um não torna o processo explosivo uma vez que não há termos

estocásticos para serem perpetuados. De fato, as políticas são compatíveis com as soluções de equilíbrios do modelo considerado. As respostas dos juros podem ser observadas nos gráficos das funções impulso-resposta. Notam-se que quanto mais elevado o parâmetro de inércia, mais suave é o movimento na taxa de juros em resposta a choques exógenos estocásticos. Regras simples otimizadas com elevado grau de inércia já foram encontrados em outros estudos<sup>30</sup>. Como discutido em Woodford (1999, 2003), regras inerciais tomam vantagens das expectativas futuras da política e dos desenvolvimentos econômicos, ao influenciar a performance da economia. Um resultado-chave de Levin, Wieland e Williams (1999) é que, em quatro modelos analisados, o coeficiente autorregressivo da taxa de juros é maior que um em diversas regras. Em muitos casos, Williams (2003) encontrou um coeficiente de inércia muito próximo de um e em alguns casos excedendo a unidade. Segundo Williams (2003), uma característica fundamental de políticas monetária bem sucedidas sob expectativas racionais é um forte grau de persistência nos movimentos da taxa básica de juros. Segundo Taylor e Williams (2010), um grau significativo de inércia de política monetária ou de “suavização da taxa de juros” pode significativamente ajudar a melhorar a performance em modelos *forward-looking*; para estes autores, de fato nesses tipos de modelos o valor ótimo do coeficiente de inércia tende a ser próximo a um e em muitos casos excede a unidade. Taylor e Wieland (2012) encontraram valores otimizados do coeficiente de inércia da taxa de juros acima de um em todos os três modelos considerados, em todas as três regras consideradas, e sob diferentes pesos para os componentes da função objetivo do banco central.

O segundo resultado interessante são as intensidades relativas das respostas. Enquanto as regras otimizadas, em geral, sugerem uma resposta elevada para o nível da inflação corrente as respostas ao nível corrente do *gap* do produto são relativamente menores, próximas de zero. Com relação à resposta à inflação corrente, comparando a Regra 3 otimizada com as regras 1 e 2 otimizadas, percebe-se que a inclusão da resposta à inflação corrente reduz bastante a resposta ótima à expectativas da inflação três trimestres a frente. Considerando a inclusão do *gap* do produto defasado nas regras 2 e S.W otimizadas, verifica-se que a resposta ao *gap*

---

<sup>30</sup> Segundo Woodford (1999, p.84), “até um polinômio autorregressivo ‘super-inercial’ pode ser ótimo(...)”. Tradução livre do original.

do produto defasado é próxima ao negativo da resposta ao *gap* do produto corrente, indicando que possivelmente as regras otimizadas sugerem que é melhor uma resposta à taxa de crescimento médio do que ao nível do *gap* do produto.

Para efeito de comparação segue a regra original do modelo, com os parâmetros estimados empiricamente por Minella *et al.* (2008) utilizando dados da economia brasileira. Essa regra pode ser considerada o que na prática vem *direcionando* o comportamento do banco central<sup>31</sup>:

$$\text{Regra Original: } r_t = 0.68r_{t-1} + (1 - 0.68)[1.52E_t(\pi_{t+1} - \bar{\pi}_{t+1}) + \bar{\pi}_t + 0.84y_t^{gap}]$$

Foram computados os valores absolutos da função objetivo quando realizada uma simulação estocástica sob a adoção de cada uma das regras otimizadas. A partir dos valores absolutos da função objetivo foram estabelecidas as regras otimizadas que obtiveram a melhor performance. A Tabela 1, apresentada abaixo informa a variação na função perda quando a regra original empiricamente estimada é alterada para cada uma das regras otimizadas. Percebe-se que o ganho em estabilização (diminuição da função perda) é significativamente elevado quando a regra estimada é alterada para cada uma das otimizadas. As principais mudanças na regra que resultam em uma melhor performance de estabilização macroeconômica são a elevação do grau de inércia, o aumento da resposta à inflação, a desconsideração das expectativas de desvios da meta e uma resposta à taxa de crescimento do *gap* do produto e não ao seu nível.

**Tabela 1: Variação % na Função Objetivo quando a regra original estimada é alterada para cada uma das regras otimizadas**

Mudança na Regra de Política Monetária	$\Delta\%$ na Função Objetivo
Regra Orig. p/ Regra 1	-89.90
Regra Orig. p/ Regra 2	-90.52
Regra Orig. p/ Regra Orig. Otim.	-91.44
Regra Orig. p/ Regra 3	-91.83

<sup>31</sup> Importante salientar que, como já mencionado, o Banco Central do Brasil atua sob o regime de discricionariedade limitada. O Banco Central compromete-se a acomodar a inflação na meta pré-estabelecida, mas os ajustes na taxa básica de juros são discricionários e não seguem nenhum padrão sistemático guiado por regras.

Regra Orig. p/ Regra L.W.W Otim.	-91.90
Regra Orig. p/ Regra S.W Otim.	-92.06

A Tabela 2 apresentada na sequência foi construída para mostrar as variações na função objetivo quando as regras otimizadas são alteradas entre si. Para tornar mais clara a exposição, a disposição das regras na tabela segue uma sequência crescente de melhora (transitiva) no sentido de minimizar a função objetivo, isto é, as volatilidades do produto, da inflação e das variações da taxa básica de juros.

**Tabela 2: Variação % na Função Objetivo quando a regra otimizada adotada é alterada**

Mudança na Regra Otimizada de Política Monetária	$\Delta\%$ na Função Objetivo
Regra Original para Regra 1	-89.90
Regra 1 para Regra 2	-6.11
Regra 2 para Regra Orig. Otim.	-9.76
Regra Orig. Otim. Para Regra 3	-4.50
Regra 3 para Regra L.W.W Otim.	-0.94
Regra L.W.W Otim. Para Regra S.W Otim.	-1.90

Conforme as variações apresentadas na Tabela 2, nota-se o enorme decréscimo na função objetivo (função perda) quando a regra original é substituída pela Regra 1 otimizada. Analisando as variações computadas da volatilidade da economia quando as regras são trocadas conclui-se que a regra otimizada que obteve melhor performance, isto é, que dentro do ambiente e dentre as regras consideradas minimizou a volatilidade da economia diante de choques exógenos estocásticos, foi a Regra S.W otimizada. Essa regra possui um componente de inércia maior que a unidade – apesar de ser o menor obtido-, não possui nenhum termo com expectativas, responde de forma relativamente alta à inflação corrente e responde à taxa de crescimento do *gap* do produto corrente ao invés de ao seu nível.

Para analisar as performances comparativas das políticas monetária em acomodar a economia frente a choques exógenos estocásticos são analisadas as

propagações no produto e na inflação e as respostas da taxa básica de juros para 10 anos sob a adoção de cada uma das regras consideradas. São realizados choques estocásticos ortogonais na preferência das famílias pelo consumo ( $\varepsilon_t^c$ ), na oferta de trabalho ( $\varepsilon_t^n$ ), nos investimentos ( $\varepsilon_t^I$ ), na aversão ao risco do investidor estrangeiro ( $\varepsilon_t^{\phi^*}$ ), no prêmio de risco país ( $\varepsilon_t^\phi$ ), na tecnologia ( $\varepsilon_t^a$ ), nas exportações domésticas ( $\varepsilon_t^{m^*}$ ), na inflação mundial ( $\varepsilon_t^{\pi^*}$ ) e na taxa de juros mundial ( $\varepsilon_t^{r^*}$ ).

Com a solução do modelo, **(2)** ou **(3)**, é possível obter, por exemplo, a resposta dinâmica de uma particular variável  $x_t$  (algum elemento de  $X_t$ ) a um determinado choque (algum elemento de  $U_t$ ). Funções Impulso-Resposta descrevem o efeito isolado de um choque unitário<sup>32</sup> no sistema dinâmico deixando tudo mais constante. Formalmente, a função impulso-resposta do  $n$ -ésimo componente do vetor  $X_t$ , no período  $t + h$ ,  $x_t^n$ , a um choque específico no período  $t$ ,  $\varepsilon_t^x$ , é definida como:

$$IR_{t+h}^{x^n}(\varepsilon_t^x) = (E_t(x_{t+h}^n | x_{t-1}^n, \varepsilon_t^x) - E_t(x_{t+h}^n | x_{t-1}^n))$$

Valendo que  $cov(\varepsilon_t^x, \varepsilon_t^j) = 0, \forall j \in X_t$ .

CHRISTIANO, Lawrence J.; EICHENBAUM, Martin; EVANS, Charles L. Nominal rigidities and the dynamic effects of a shock to monetary policy. **Journal of political Economy**, v. 113, n. 1, p. 1-45, 2005.

ORPHANIDES, Athanasios; WILLIAMS, John C. Robust monetary policy with imperfect knowledge. **Journal of Monetary Economics**, v. 54, n. 5, p. 1406-1435, 2007.

WOODFORD, Michael. Optimal interest-rate smoothing. **The Review of Economic Studies**, v. 70, n. 4, p. 861-886, 2003.

LEVIN, Andrew T.; WILLIAMS, John C. Robust monetary policy with competing reference models. **Journal of monetary economics**, v. 50, n. 5, p. 945-975, 2003.

<sup>32</sup> O *steady state*, onde  $U_t = E_t U_{t+1} = 0$ , é a condição inicial em todos os períodos que precedem o primeiro período da simulação. Os choques unitários (os quais somente a distribuição de probabilidade das ocorrências é conhecida pelos agentes) somente atingem o modelo (como uma surpresa) no instante  $t$  (instante em que ocorrem), mas depois seus valores esperados são zeros. Em modelos estocásticos os choques permanentes não podem ser acomodados devido à necessidade de *estacionarizar* o modelo ao redor do *steady state* determinístico. No entanto, o efeito do choque se propaga lentamente através da Economia a partir da introdução das variáveis exógenas que são, por sua vez, processos AR (1) estacionários.

UHLIG, Harald. A Toolkit for Analysing Nonlinear Dynamic Stochastic Models Easily. **Computational Methods for the Study of Dynamic Economies**, 30-61. 1999.

GOUVEA, Solange et al. Samba: Stochastic analytical model with a bayesian approach. **Central Bank of Brazil**, 2008.

MURCHISON, Stephen; RENNISON, Andrew. **ToTEM: the Bank of Canada's new quarterly projection model**. Bank of Canada, 2006.

ADOLFSON, Malin et al. Bayesian estimation of an open economy DSGE model with incomplete pass-through. **Journal of International Economics**, v. 72, n. 2, p. 481-511, 2007.

MEDINA, Juan Pablo et al. The Chilean business cycles through the lens of a stochastic general equilibrium model. **Central Bank of Chile Working Papers**, v. 457, 2007.

SMETS, Frank; WOUTERS, Raf. An estimated dynamic stochastic general equilibrium model of the euro area. **Journal of the European economic association**, v. 1, n. 5, p. 1123-1175, 2003.

ORPHANIDES, Athanasios; WIELAND, Volker. Economic Projections and Rules of Thumb for Monetary Policy. **Federal Reserve Bank of St. Louis Review**, v. 90, n. July/August 2008, 2008.

As funções impulso-resposta são apresentadas no Anexo. A resposta é simulada para 40 trimestres, totalizando 10 anos. No eixo das ordenadas estão os log-desvios do *steady state* em pontos percentuais. A propagação dos choques sobre o produto e a inflação e os movimentos dos juros são similares entre todas as regras consideradas. Para analisar como os choques afetam a economia considerada basta verificar as equações log-linearizadas apresentadas na seção 3.2. A regra S.W otimizada, que obteve a melhor performance no cômputo da função perda, parece suavizar mais a inflação e o produto frente aos diferentes choques estocásticos. Entretanto, a resposta dos juros sob a regra S.W otimizada parece ser a mais alta quando comparada às demais regras otimizadas, isso deve-se ao componente de inércia ser relativamente menor nessa regra; não obstante a resposta dos juros sob a regra S.W otimizada é bem mais suave/inercial do que a regra original empiricamente estimada do modelo. Cabe ressaltar que os movimentos positivos das respostas do produto não são desejados, uma vez que representam os erros expectacionais dos agentes devido à ocorrência dos choques não antecipados; isto é, são desvios positivos das trajetórias ótimas de crescimento equilibrado.



## CONCLUSÃO

Considerando um modelo de equilíbrio geral, dinâmico, estocástico, com expectativas racionais, estimado para a economia brasileira por Minella *et al.* (2008), micro fundamentado com entre outras características rigidez de preços no nível dos produtores, famílias com restrição ao crédito e um governo que persegue uma meta de superávit primário como proporção do PIB, sete regras de política monetária são otimizadas minimizando uma função perda composta pelas variâncias incondicionais das respostas ótimas do produto, da inflação e das variações dos juros. Em seguida, as performances comparativas dessas regras otimizadas são comparadas entre si e com a regra original do modelo empiricamente estimada. Primeiro são computadas as variações das funções perda sob a adoção de cada uma das regras. Segundo, são realizadas simulações estocásticas para um período de 10 anos das respostas do produto, da inflação e da taxa básica de juros, a 9 choques exógenos estocásticos. A regra que obteve a melhor performance comparativa, dentro do ambiente considerado, é uma regra relativamente simples que não considera nenhuma variável *forward-looking*, com um grau de inércia elevado (apesar de ser o menor entre as otimizações realizadas), com uma resposta relativamente alta à inflação corrente e uma resposta à taxa de crescimento do *gap* do produto que praticamente anula a resposta ao nível deste no longo prazo. Os resultados encontrados são corroborados por artigos que visam objetivos normativos para regras de política monetária, sendo uma aplicação sem precedentes de publicação utilizando um modelo empiricamente estimado para a economia brasileira. Não obstante a solidez metodológica da aplicação e dos resultados encontrados, sugerir que a política monetária deve seguir exatamente a função otimizada encontrada leva à pressuposição de que o modelo utilizado representa, de fato, a economia brasileira e todas as suas características. Por definição, sempre haverá incerteza quanto ao fato da adequada representação da realidade por um modelo. Regras de política monetária otimizadas em determinado modelo podem não possuir boa performance em modelos com micro fundamentos diferentes. Nesse sentido, é necessário adquirir robustez para as regras de política monetária, no sentido de serem alcançadas boas performances em uma gama de diferentes modelos com diferentes características da economia brasileira. Sendo assim, pesquisas futuras devem caminhar para realizar o procedimento metodológico usado neste trabalho em diversos outros modelos desenhados para capturar distintas

características da economia brasileira, como por exemplo, a rigidez dos salários, o setor financeiro, as liberações do BNDES, a presença de agentes com racionalidade limitada, e verificar se as sugestões obtidas aqui – nenhuma variável *forward-looking*, elevado grau de inércia, resposta relativamente alta à inflação corrente e resposta à taxa de crescimento do *gap* do produto ao invés de seu nível – continuam sendo as mais eficientes em diminuir a instabilidade macroeconômica.

## BIBLIOGRAFIA

BRYANT, Ralph C.; HOOPER, Peter; MANN, Catherine L. **Evaluating policy regimes: new research in empirical macroeconomics**. Brookings Inst. Pr., 1993.

CLARIDA, Richard; GALI, Jordi; GERTLER, Mark. **The science of monetary policy: a new Keynesian perspective**. National bureau of economic research, 1999.

HENDERSON, Dale W.; MCKIBBIN, Warwick J. **An Assessment of Some Basic Monetary Policy Regime Pairs: Analytical and Simulation Results from Simple Multi-Region Macroeconomic Models**. Evaluating Policy Regimes: New Research in Empirical Macroeconomics, Brookings Institution, Washington, DC, p. 45-218, 1993.

KLEIN, Paul. **Using the Generalized Schur Form to Solve A Multivariate Linear Rational Expectations Model**. Journal of Economic Dynamics and Control, v. 24, n. 10, p. 1405-1423, 2000.

KYDLAND, Finn E.; PRESCOTT, Edward C. **Rules Rather than Discretion: The Inconsistency of Optimal Plans**. The Journal of Political Economy, p. 473-491, 1977.

KYDLAND, Finn E.; PRESCOTT, Edward C. **Time To Build And Aggregate Fluctuations**. Econometrica: Journal of the Econometric Society, p. 1345-1370, 1982.

LEVIN, Andrew T.; WIELAND, Volker; WILLIAMS, John. **Robustness of Simple Monetary Policy Rules Under Model Uncertainty**. In: Monetary policy rules. University of Chicago Press, 1999. p. 263-318.

LEVIN, Andrew; WIELAND, Volker; WILLIAMS, John C. **The Performance of Forecast-Based Monetary Policy Rules Under Model Uncertainty**. American Economic Review, p. 622-645, 2003.

LUCAS, Robert E. **Econometric Policy Evaluation: A Critique**. In: Carnegie-Rochester conference series on public policy. North-Holland, 1976. p. 19-46.

ORPHANIDES, Athanasios *et al.* **Inflation Targeting Under Imperfect Knowledge**. Central Banking, Analysis, and Economic Policies Book Series, v. 11, p. 077-123, 2007.

ROTEMBERG, Julio J.; WOODFORD, Michael. **Interest rate rules in an estimated sticky price model**. In: Monetary policy rules. University of Chicago Press, 1999. p. 57-126.

RUDEBUSCH, Glenn; SVENSSON, Lars EO. **Policy rules for inflation targeting.** In: **Monetary policy rules.** University of Chicago Press, 1999. p. 203-262.

SIMS, Christopher A. **Solving linear rational expectations models.** Computational economics, v. 20, n. 1, p. 1-20, 2002.

SMETS, Frank. WOUTERS, Rafael. **Shocks and frictions in US business cycles: A bayesian DSGE approach.** The American Economic Review 97(3), 586–606. 2007

SMITH, Adam. **An Inquiry into the Nature and Causes of The Wealth of Nations.** The Pennsylvania State University. *An Electronic Classics Series Publication.* 2005.

TAYLOR, John B. **Estimation and control of a macroeconomic model with rational expectations.** Econometrica: Journal of the Econometric Society, p. 1267-1286, 1979.

TAYLOR, John B. **Housing and monetary policy.** National Bureau of Economic Research, 2007.

TAYLOR, John B. **Macroeconomic policy in a world economy: from econometric design to practical operation.** WW Norton, 1993a.

TAYLOR, John B.(b) **Discretion versus policy rules in practice.** In: Carnegie-Rochester conference series on public policy. North-Holland, 1993b. p. 195-214.

TAYLOR, John B.; WIELAND, Volker. **Surprising comparative properties of monetary models: results from a new model database.** Review of Economics and Statistics, v. 94, n. 3, p. 800-816, 2012.

TAYLOR, John B.; WILLIAMS, John C. **Simple and robust rules for monetary policy.** National Bureau of Economic Research, 2010.

UHLIG, Harold. **A toolkit for analyzing nonlinear dynamic stochastic models easily.** em Ideas, 1999.

VILLEMOT, Sébastien. **Solving rational expectations models at first order: what Dynare does.** CEPREMAP, 2011.

WILLIAMS, John C. **Simple rules for monetary policy.** Federal Reserve Board FEDS Paper, n. 99-12, 1999.

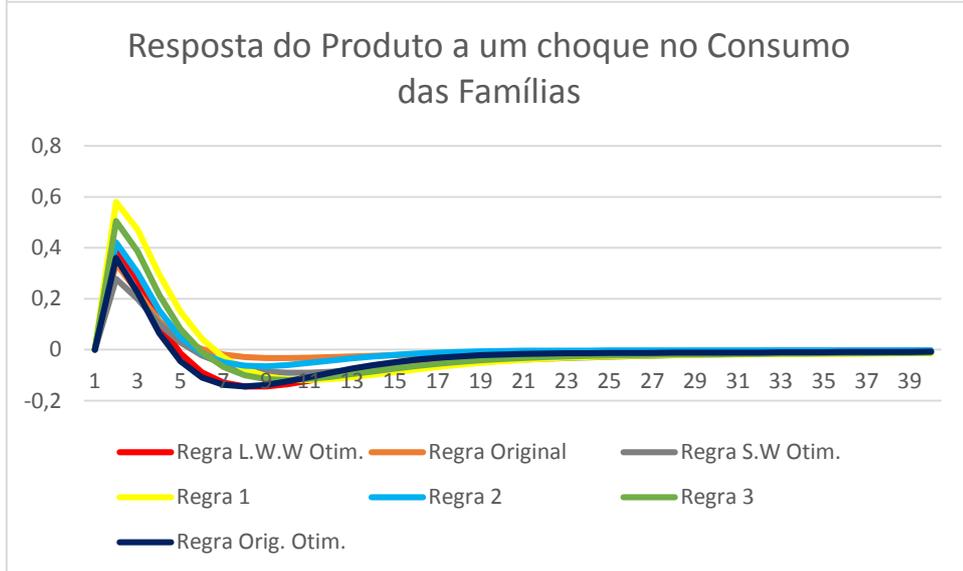
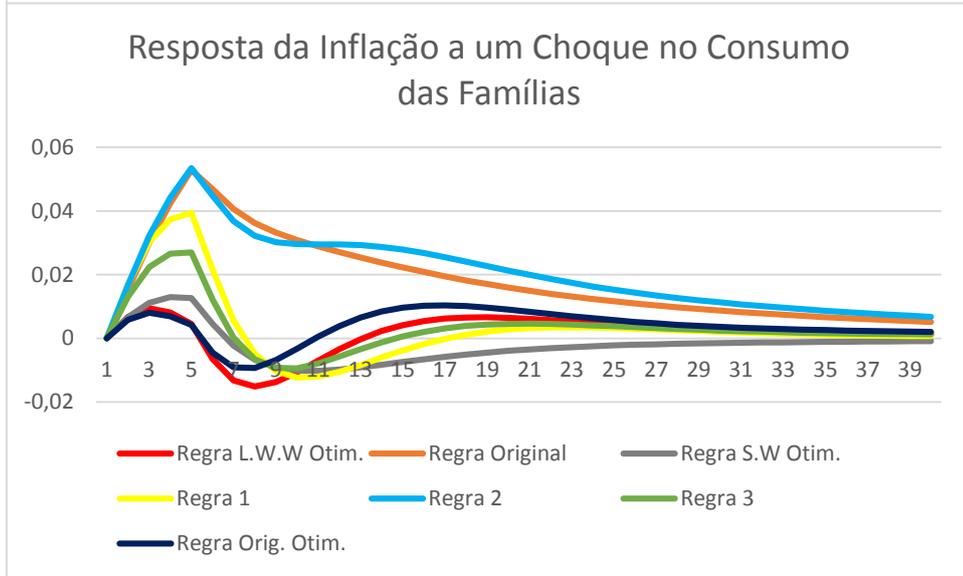
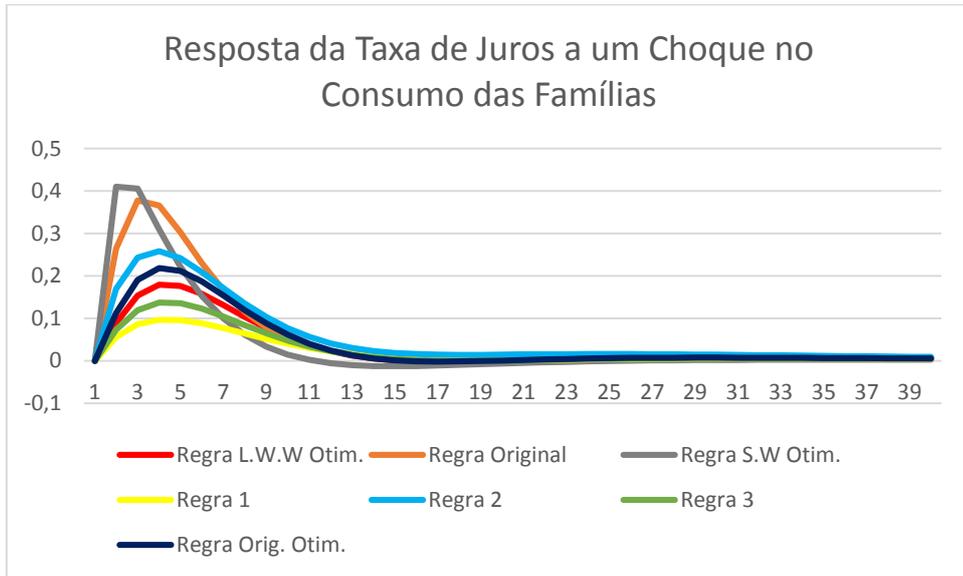
WOODFORD, Michael. **Optimal monetary policy inertia.** The Manchester School, v. 67, n. s1, p. 1-35, 1999.

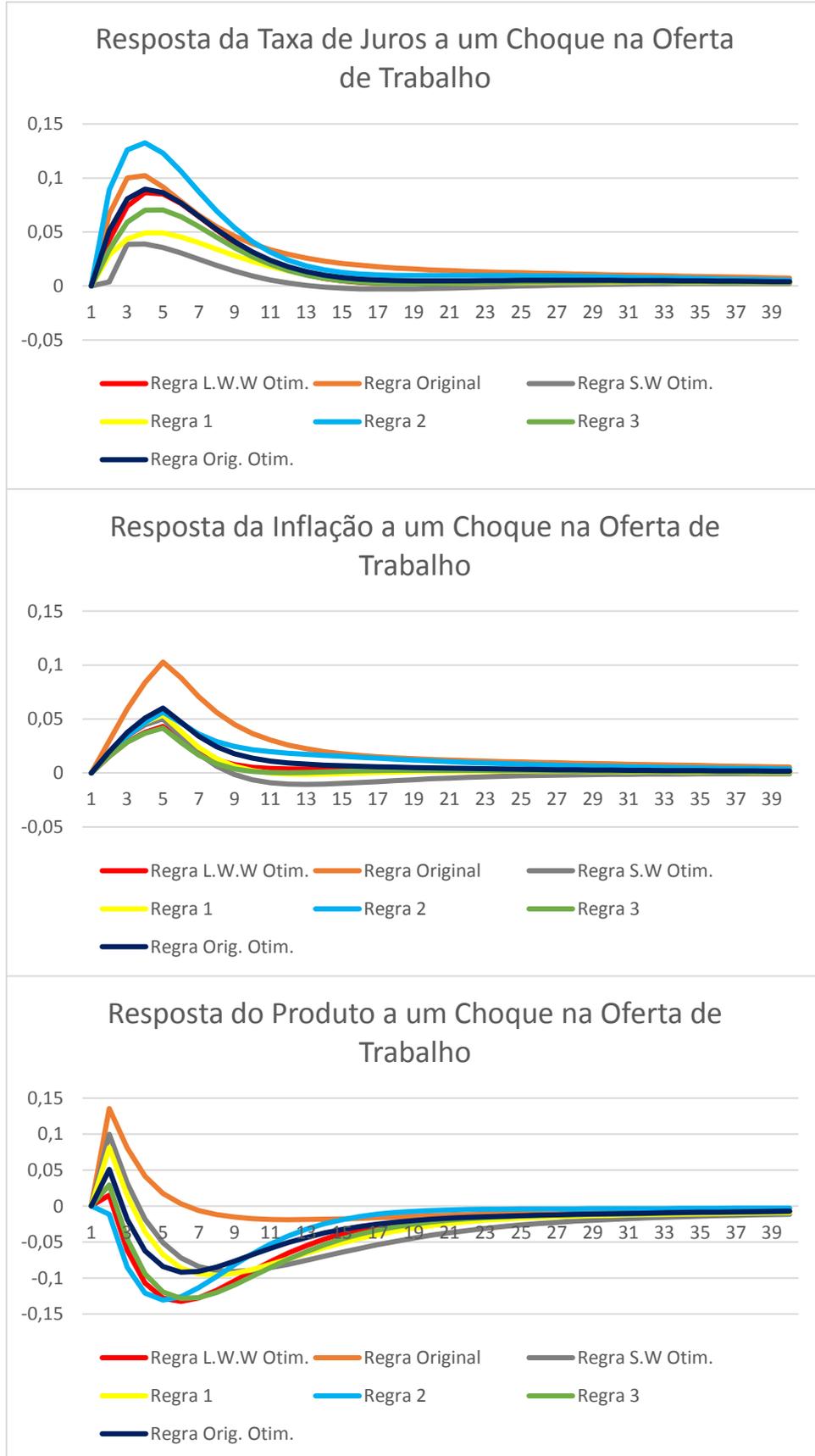
WOODFORD, Michael. **The Taylor Rule and Optimal Monetary Policy**. American Economic Review, p. 232-237, 2001.

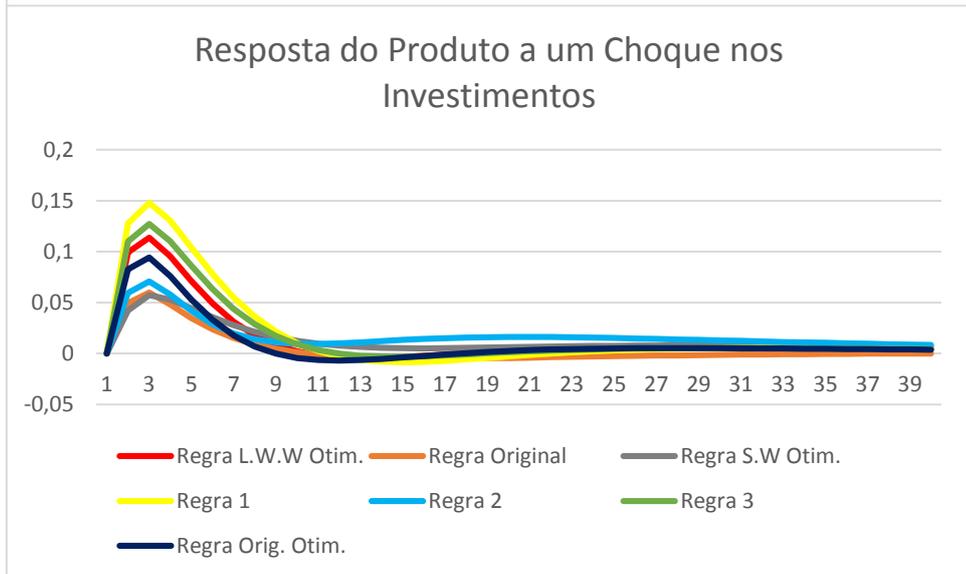
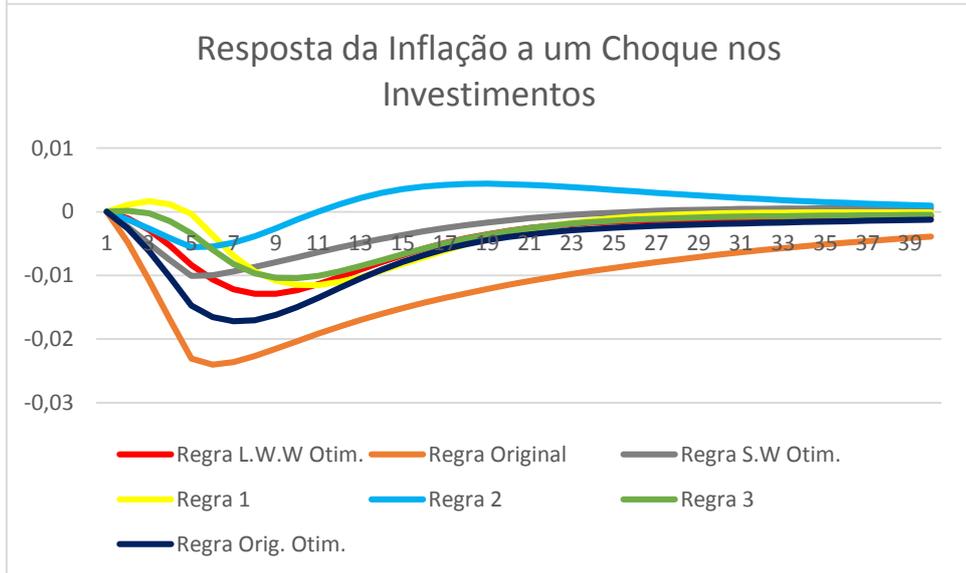
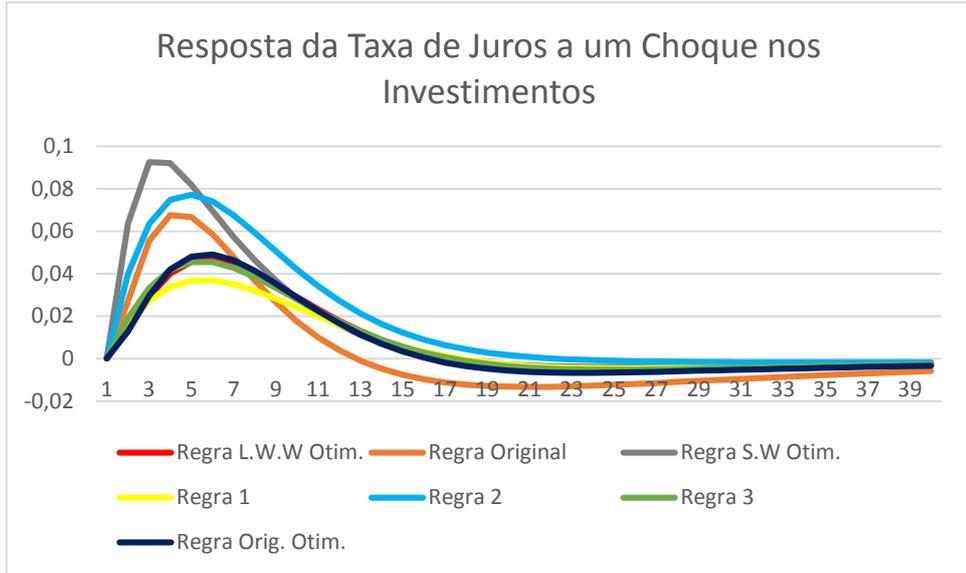
WOODFORD, Michael. **Optimal Monetary Stabilization Policy**. National Bureau of Economic Research, 2010.

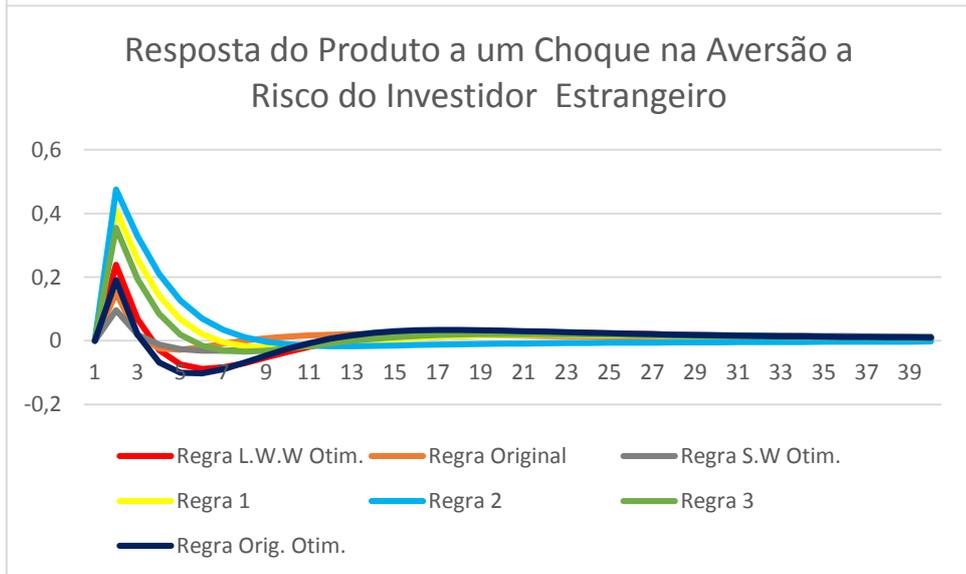
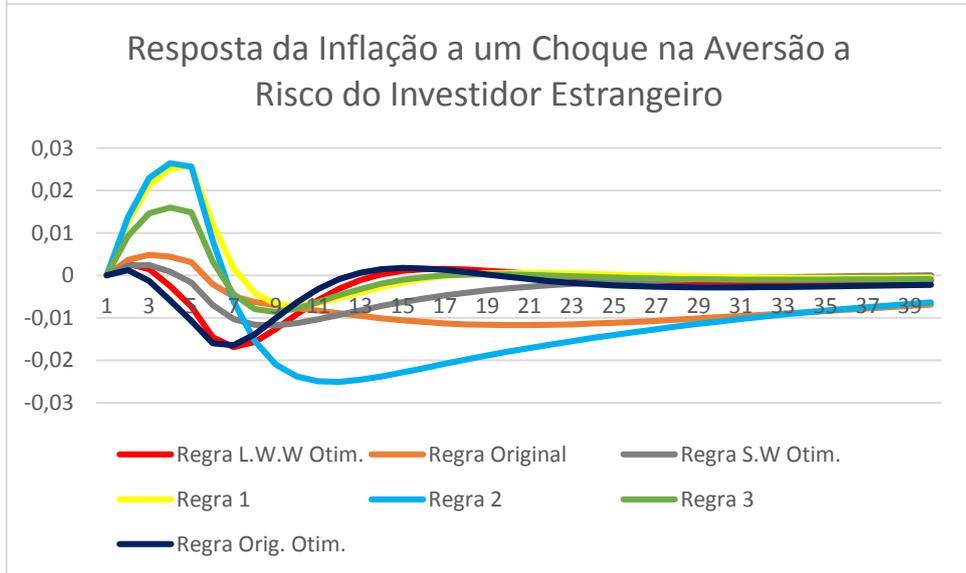
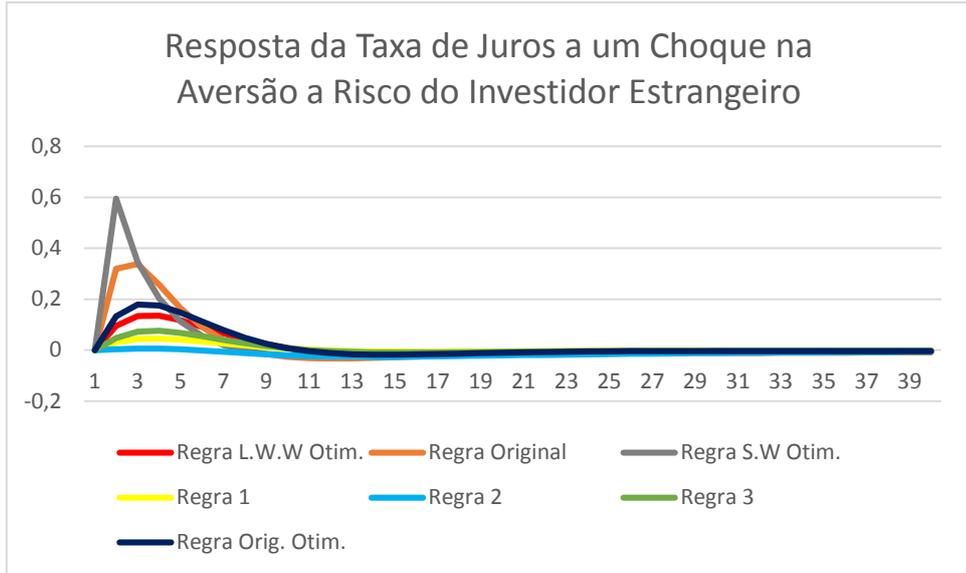
WOODFORD, Michael; WALSH, Carl E. **Interest and prices: Foundations of a Theory Of Monetary Policy**. The Manchester School. 2005.

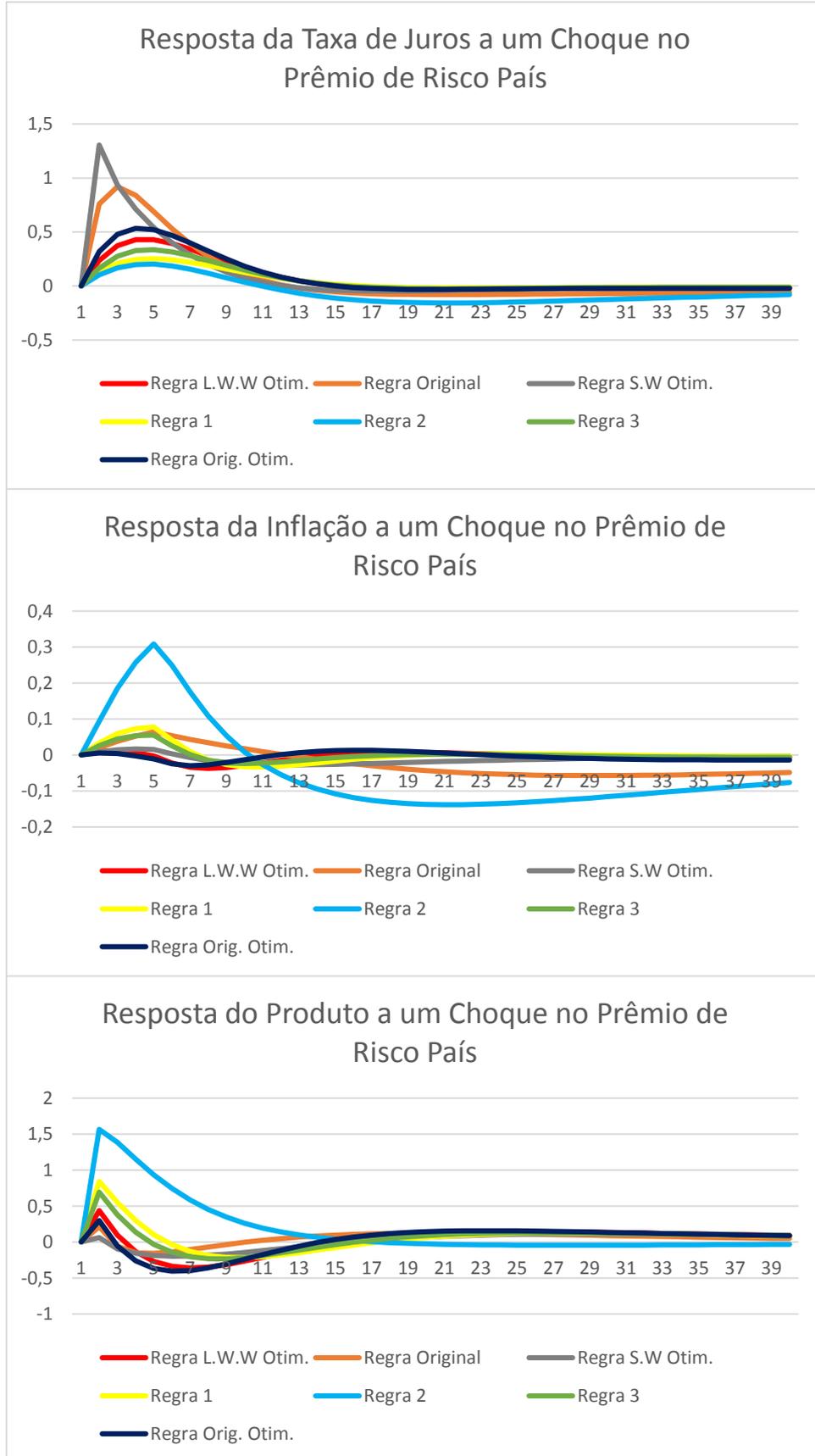
ANEXO – Funções Impulso-Resposta

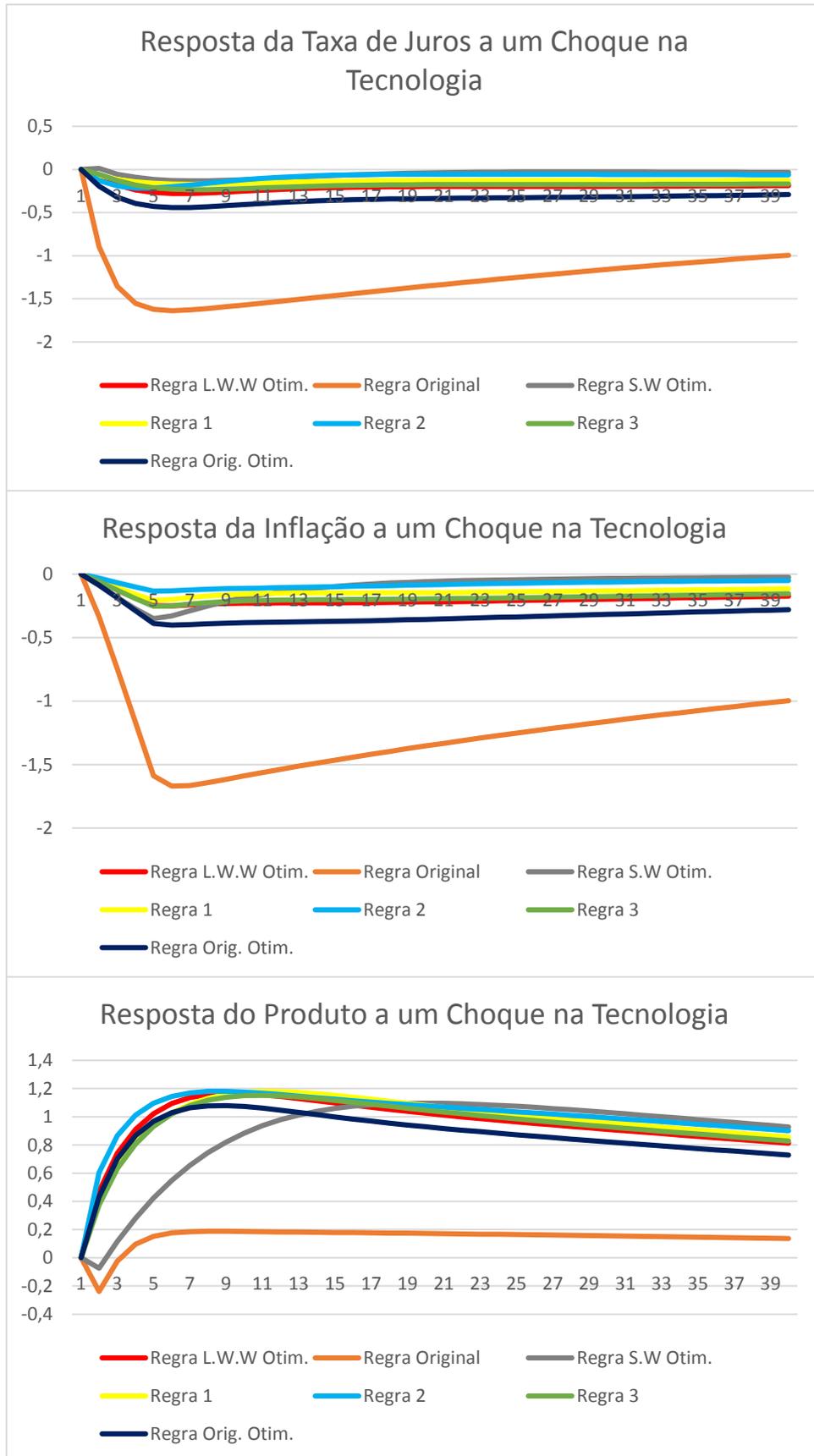


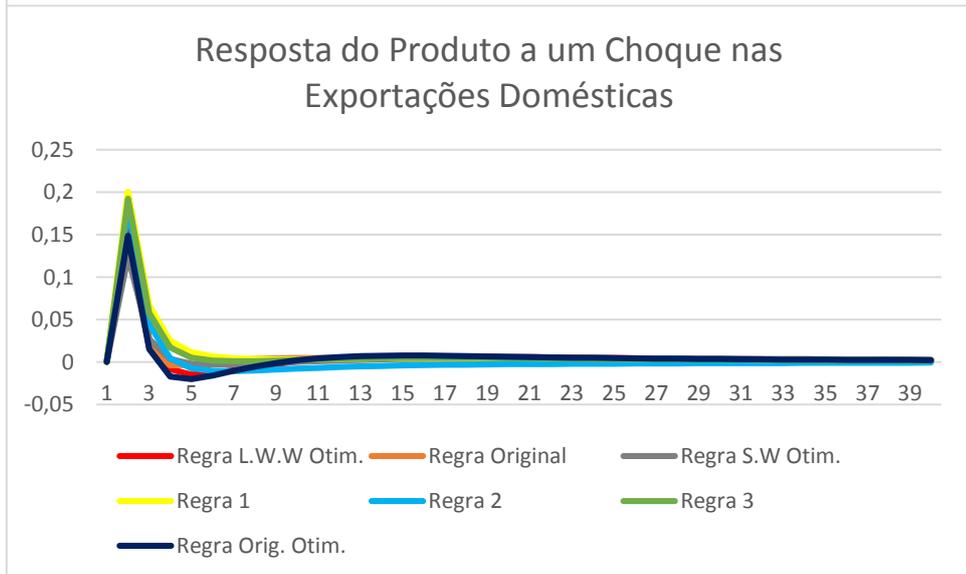
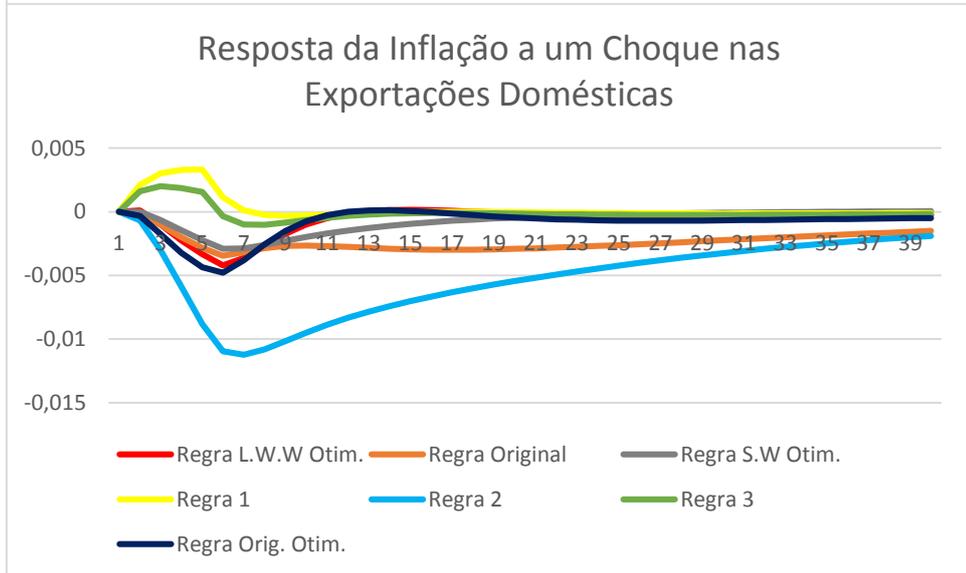
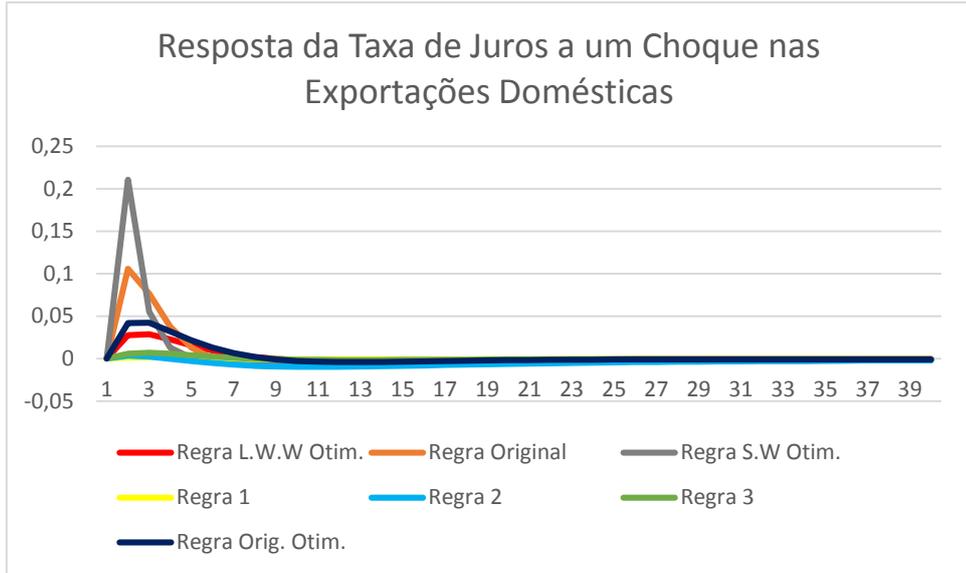


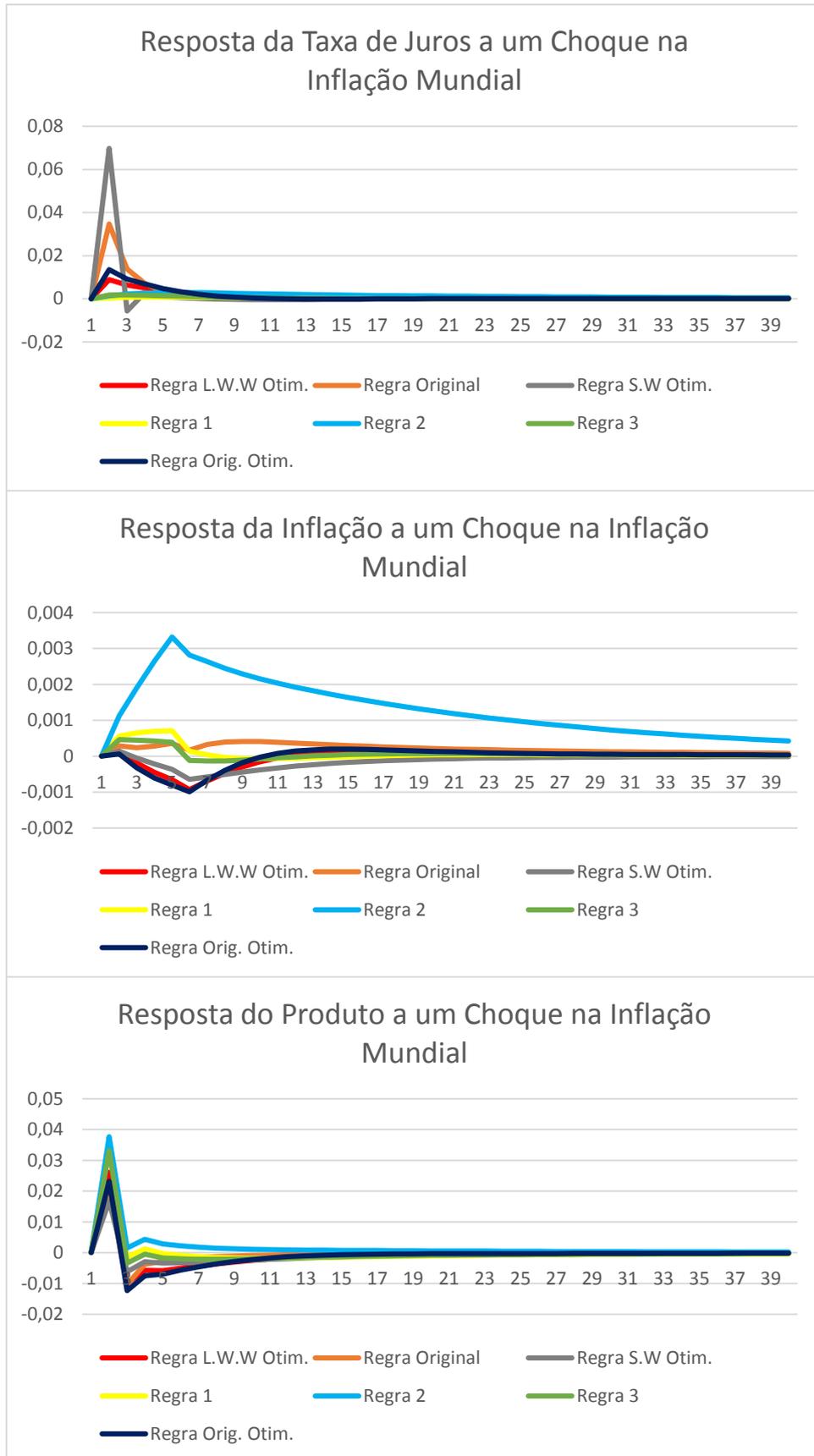




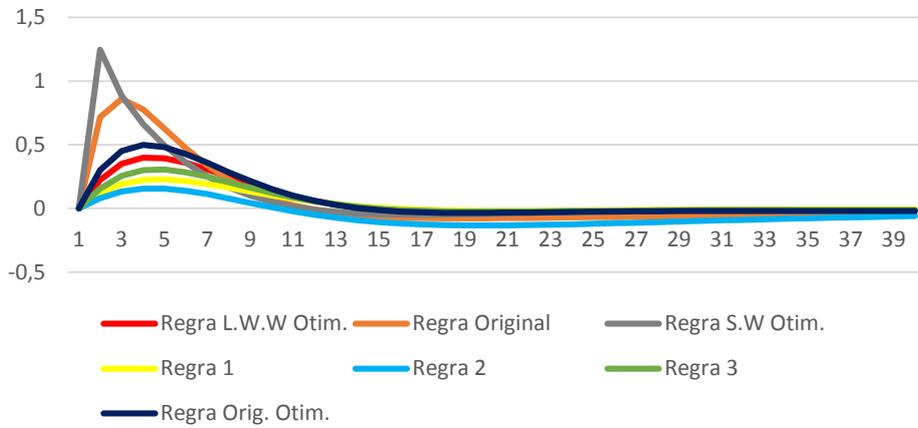




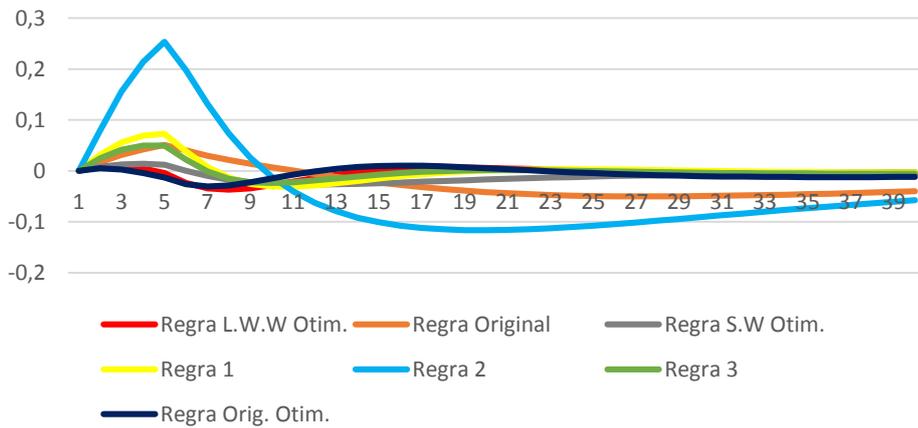




Resposta da Taxa de Juros a um Choque na Taxa de Juros Internacional



Resposta da Inflação a um Choque na Taxa de Juros Internacional



Resposta do Produto a um Choque na Taxa de Juros Internacional

