



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO SOCIOECONÔMICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

Eduarda Schlossmacher Korzenowski

A taxa de juros neutra no Brasil: atualização das estimativas através de um modelo com fundamentos econômicos

Florianópolis
2022

Eduarda Schlossmacher Korzenowski

A taxa de juros neutra no Brasil: atualização das estimativas através de um modelo com fundamentos econômicos

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em economia.
Orientador: Prof. Dr. Roberto Meurer

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Korzenowski, Eduarda

A taxa de juros neutra no Brasil : atualização das
estimativas através de um modelo com fundamentos econômicos
/ Eduarda Korzenowski ; orientador, Roberto Meurer, 2022.
61 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Sócio-Econômico, Programa de Pós-Graduação em
Economia, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Economia. 2. Taxa de juros neutra. 3. Modelo Espaço
Estado. 4. Filtro de Kalman.. I. Meurer, Roberto. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós
Graduação em Economia. III. Título.

Eduarda Schlossmacher Korzenowski

A taxa de juros neutra no Brasil: atualização das estimativas através de um modelo com fundamentos econômicos

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Marianne Zwilling Stampe, Dr.(a)
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Prof. Guilherme Valle Moura, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Prof. Pedro Luiz Paolino Chaim, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Economia.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Roberto Meurer, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2022

RESUMO

Desde a adoção do regime de metas de inflação, um dos principais objetivos da política monetária passou a ser o compromisso com a estabilidade de preços - o que significa inflação baixa e estável. Para atingir tal objetivo, um dos principais instrumentos utilizados é a taxa de juros e, para a sua utilização, é necessário o conhecimento da chamada taxa de juros neutra (estrutural) da economia. No entanto, essa taxa de juros não é observável e não existe consenso sobre qual é a melhor forma de estimá-la. Assim, há uma grande incerteza sobre o seu verdadeiro valor e as estimativas variam muito conforme o modelo utilizado. O principal objetivo dessa dissertação é atualizar as estimativas para a taxa de juros neutra do Brasil. Para tanto, será utilizado um modelo de espaço-estado com fundamentos econômicos. Com essa estimativa é possível analisar a condução da política monetária nos últimos anos. O trabalho encontrou que as estimativas da taxa natural de juros no último período estudado - setembro de 2021 - variavam entre -2,83% e 3,49%, dependendo do modelo utilizado. Ainda, foi possível perceber diferentes períodos da política monetária brasileira: de 2002 até 2005, política monetária expansionista; 2006, política monetária contracionista; 2008 - 2014, política majoritariamente expansionista; 2014 - 2016 política contracionista - mesmo com um ambiente econômico recessivo; 2016 - até agora: política monetária expansionista/neutra, com o hiato de juros se tornando positivo ao longo de 2021.

Palavras-chave: Taxa de juros neutra; Modelo Espaço-Estado; Filtro de Kalman.

ABSTRACT

Since the adoption of the inflation targeting regime, one of the main objective of the monetary policy has been the commitment to price stability - which means low and stable inflation. To achieve this objective, one of the main instruments used is the interest rate and, for its use, it is necessary to know the so-called neutral (structural) interest rate of the economy. However, this interest rate is not observable and there is no consensus on the best way to estimate it. Thus, there is great uncertainty about its true value and estimates. The main objective of this dissertation is updated the estimate for the neutral interest rate in Brazil. To accomplish it this studie uses a state-space model with economic foundations. With these estimates it is possible to analyze the conduct of the monetary policy in the last years. The work found - that the latest estimates of the natural rate in the period studied varied from -2,83% e 3,49% depending on the model used. Still, it was possible to perceive different periods of Brazilian economic policy: up to 200 expansionist economic policies; 2006, contractionary economic policy; 2008 - 2014, mostly expansionist policy; 2014 - 2016 contractionary policy - even with a recessive economic environment; 20 expansionary/neutral monetary policy¹⁶ with the interest rate gap, so far positive throughout 2021.

Keywords: Neutral interest rate; Space-State Model; Kalman Filter.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Taxa de Juros real <i>ex-ante</i> | 36 |
| Figura 2 - Termos de Troca (pontos)..... | 37 |
| Figura 3 - Dívida Pública (% do PIB) | 37 |
| Figura 4 - Desembolso BNDES (R\$) | 38 |
| Figura 5 – EMBI (pontos) | 38 |
| Figura 6 - Taxa de Juros Natural - Filtro HP..... | 40 |
| Figura 7 - Resultado Modelo 3 (Irrestrito) | 44 |
| Figura 8 - Hiato da Taxa de Juros | 44 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Estimações da Taxa de Juros Neutra e Resultados..... | 25 |
| Tabela 2 - Taxa de Juros Real Ex-ante | 35 |
| Tabela 3 - Variáveis dos Modelos | 35 |
| Tabela 4 - Estatísticas descritivas das variáveis | 39 |
| Tabela 5 - Modelos Estimados | 41 |
| Tabela 6 - Resultado das variáveis estimadas (Desvio padrão em parênteses) | 41 |
| Tabela 7 - Estimativas da Taxa de Juros Neutra (a.a) | 43 |
| Tabela 8 - Hiato da Taxa de Juros..... | 44 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BCB Banco Central do Brasil

BRICS Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul

EMBI Emerging Markets Bond Index

HP Hodrick-Prescott

OCDE Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 2 | TAXA DE JUROS NATURAL: MODELO, CONCEITO E DETERMINANTES | 13 |
| 2.1 | MODELO NOVO KEYNESIANO BÁSICO | 13 |
| 2.2 | O QUE É A TAXA DE JUROS NEUTRA? | 16 |
| 2.3 | DETERMINANTES DA TAXA DE JUROS NEUTRA | 18 |
| 2.4 | DIFERENTES ESTIMATIVAS PARA A TAXA DE JUROS NEUTRA | 20 |
| 3 | METODOLOGIA E DADOS | 26 |
| 3.1 | FILTRO HODRICK-PRESCOTT | 26 |
| 3.2 | MODELOS ESPAÇO-ESTADO | 27 |
| 3.3 | EXEMPLO DE MODELO ESPAÇO-ESTADO MULTIVARIADO | 29 |
| 3.4 | FILTRO DE KALMAN | 31 |
| 3.5 | ESTIMAÇÃO POR MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA | 33 |
| 3.6 | HIATO DA TAXA DE JUROS | 34 |
| 3.7 | DADOS | 34 |
| 3.7.1 | Descrição das variáveis | 35 |
| 3.7.2 | Gráficos das variáveis | 36 |
| 3.7.3 | Estatísticas descritivas das variáveis explicativas | 38 |
| 4 | RESULTADOS | 39 |
| 4.1 | RESULTADO FILTRO HP | 39 |
| 4.2 | RESULTADO DO MODELO COM FUNDAMENTOS ECONÔMICOS | 40 |
| 4.3 | ANÁLISE DE CONDUÇÃO DA POLÍTICA MONETÁRIA | 43 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 46 |
| | REFERÊNCIAS | 47 |
| | APÊNDICE A — Modelo 1 (Fundamentos econômicos – EBMI e Termos de troca) | 52 |
| | APÊNDICE B — Modelo 2 (Fundamentos econômicos – EMBI, Termos de Troca e razão dívida/PIB) | 54 |
| | APÊNDICE C — Modelo 3 (Fundamentos econômicos – EMBI, Termos de Troca, razão dívida/PIB e Desembolso do BNDES) | 56 |
| | APÊNDICE D — Gráficos com resultados dos modelos com fundamentos econômicos | 59 |

1 INTRODUÇÃO

Desde a adoção do regime de metas de inflação - adotada inicialmente pela Nova Zelândia em 1990 e, em seguida, por diversos países – um dos principais objetivos da política monetária passou a ser o compromisso com a estabilidade de preços - o que significa inflação baixa e estável. Para atingir tal objetivo, um dos principais instrumentos utilizados é a taxa de juros e, para a sua utilização, é necessário o conhecimento da chamada taxa de juros neutra (estrutural) da economia. Essa, por sua vez, é a taxa de juros que prevalece quando a economia está em pleno emprego e inflação estável: a taxa na qual a política monetária não é nem contracionista e nem expansionista.

Assim, quando a taxa de juros estipulada pela autoridade monetária se encontra acima da taxa de juros natural, a política monetária aplicada é considerada contracionista. Por outro lado, quando ela se encontra abaixo da taxa natural é considerada expansionista. Percebe-se, então, que o conhecimento dessa taxa é essencial para a autoridade monetária atingir seus objetivos. Além disso, é importante notar que a taxa de juros neutra está relacionada com questões estruturais - produtividade, preferências intertemporais, questões institucionais - e conjunturais - mudanças nos gastos do governo, ritmo de crescimento global, entre outros - da economia. Assim, alterações nesses fatores podem alterar a taxa natural de juros.

No Brasil, o regime de metas de inflação foi estabelecido em 1999 e, com a queda das taxas de juros nominais e reais, a discussão sobre o nível apropriado de juros ganhou ainda mais relevância. Os juros nominais, por exemplo, passaram de 26,5% a.a. em 2003 para 2,0% a.a. em 2020, ao passo que os juros reais *ex-ante* - *Swap* DI/Pré descontado pela inflação esperada em 12 meses suavizada - passaram de 9,37% a.a. para -0,68% a.a. Segundo Perrelli e Roache (2014) a adoção do regime de metas de inflação e as medidas de responsabilidade fiscal são fatores estruturais da economia apontadas como condicionantes para a queda que aconteceu no período estudado por eles (2002 - 2013).

Além disso, a taxa de juros neutra é constantemente citada pelo Banco Central do Brasil (BCB) nos comunicados e nas atas de suas reuniões. Em 2022, em carta aberta destinada ao Ministro da Economia, – enviada, pois a inflação terminou o ano acima do intervalo determinado pelo Conselho Monetário Nacional – são duas as menções à taxa realizadas pelo atual presidente da instituição, Roberto Campos Neto - sendo uma delas apresentada a seguir. A utilização da taxa neutra pelo BCB em seus comunicados reforça a importância do seu estudo para a condução da política monetária, pois “[...] esse movimento significou a passagem da

política monetária do campo expansionista para o território contracionista (supondo uma taxa de juros real neutra de 3,5% a.a.)” (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2022).

No entanto, um aspecto relevante é que a taxa de juros estrutural da economia não é diretamente observada, sendo necessária a sua estimação. Na literatura, já foram apresentadas diversas metodologias para isso, sendo a mais utilizada a apresentada por Laubach e Willians (2003) para estimar a taxa de juros neutra dos Estados Unidos. No entanto, essa metodologia pode não ser a mais apropriada para pequenas economias abertas – como é o caso do Brasil – conforme Basdevant, Björkstén e Karagedikli (2004). Além disso, segundo Ribeiro e Teles (2013) diversas dificuldades podem surgir no processo de estimação, O principal deles é o fato de esse modelo tentar extrair duas variáveis não observáveis (g_t - tendência de crescimento da taxa natural do produto e z_t = variável que capta outros da taxa natural de juros) de uma variável que também não é observável, a taxa natural de juros.

O principal objetivo dessa dissertação é atualizar as estimativas para a taxa de juros neutra do Brasil. Diferente da maior parte dos trabalhos encontrados que utilizam o modelo de Laubach e Willians (2003), será utilizado um modelo de espaço-estado com fundamentos econômicos. Assim, serão selecionadas algumas variáveis estruturais e conjunturais da economia que, segundo sugere a bibliografia, influenciam e determinam a taxa de juros estrutural. Além disso, o modelo considera a economia brasileira como uma economia pequena e aberta, algo que poucos trabalhos – Perrelli e Roache (2014), Miranda e Muinhos (2003), Barbosa, Camêlo e João (2016) e, Gomes (2020) – consideram em suas estimações, mas que, conforme mencionado, pode ser o mais apropriado. Por fim, após atualizadas as estimativas da taxa de juros neutra através do modelo proposto, será realizada uma análise da condução da política monetária no período estudado (junho/2002 até setembro/2021).

Para atingir o objetivo proposto o trabalho está dividido em outros quatro capítulos, além dessa introdução. No segundo capítulo será apresentado o modelo teórico, o conceito e os determinantes da taxa de juros neutra. Já na terceira seção será apresentada a metodologia e os dados que foram utilizados, englobando brevemente os modelos espaço-estado, o filtro de Kalman, o método de Máxima Verossimilhança e o Filtro HP. Por fim, no quarto capítulo será realizada uma análise da condução da política monetária, junto com a apresentação dos resultados do modelo, enquanto o capítulo 5 trará a conclusão e as recomendações para novos estudos.

2 TAXA DE JUROS NATURAL: MODELO, CONCEITO E DETERMINANTES

Este capítulo apresenta a revisão teórica que embasou esta dissertação. Na primeira parte será apresentada a representação canônica do novo modelo Keynesiano básico no qual duas variáveis apresentam um papel central no equilíbrio dinâmico: o hiato do produto e taxa natural de juros. Em seguida, será apresentado o conceito de taxa de juros neutra segundo Wicksell (1936) e segundo os modelos novo-keynesianos, além de uma discussão sobre os determinantes da taxa de juros neutra. Por fim, serão apresentados diferentes estudos de estimativas da taxa neutra de juros para outras partes do mundo e para o Brasil.

2.1 MODELO NOVO KEYNESIANO BÁSICO

O modelo considerado nessa dissertação é o novo modelo Keynesiano canônico de três equações, desenvolvido por Clarida, Galí e Gertler (2000) e apresentado por Romer (2018). As três equações principais são apresentadas a seguir, sendo a equação 1 a curva IS novo-keynesiana, a equação 2 a curva de Phillips novo-keynesiana e a equação 3 a regra de taxa de juros prospectiva.

$$y_t = E_t[y_{t+1}] - \frac{1}{\theta}r_t + u_t^{IS}, \quad \theta > 0 \quad (1)$$

$$\pi_t = \beta E_t[\pi_{t+1}] + ky_t + u_t^\pi, \quad 0 < \beta < 1, \quad k > 0 \quad (2)$$

$$r_t = \phi_\pi E_t[\pi_{t+1}] + \phi_y E_t[y_{t+1}] + u_t^{MP}, \quad \phi_\pi > 0, \quad \phi_y > 0 \quad (3)$$

Onde: $y_t =$ produto no período t ,

$E_t[y_{t+1}] =$ expectativa do produto ($t + 1$) no período t

$r_t =$ taxa de juros no período t

$u_t^{IS} =$ componente de choque na IS

$\pi_t =$ inflação no período t

$E_t[\pi_{t+1}] =$ expectativa da inflação ($t + 1$) no período t

$u_t^\pi =$ componente de choque da curva de Phillips

$u_t^{MP} =$ componente de choque da regra da taxa de juros

Além disso, os choques seguem um processo AR-1 independente e e_t^{IS} , e_t^π , e_t^{MP} são termos de erro que se comportam como ruído branco que não são correlacionados um com os outros.

$$u_t^{IS} = \rho_{IS}u_{t-1}^{IS} + e_t^{IS}, \quad -1 < \rho_{IS} < 1 \quad (4)$$

$$u_t^\pi = \rho_\pi u_{t-1}^\pi + e_t^\pi, \quad -1 < \rho_\pi < 1 \quad (5)$$

$$u_t^{MP} = \rho_{MP}u_{t-1}^{MP} + e_t^{MP}, \quad -1 < \rho_{MP} < 1 \quad (6)$$

Nesse modelo, se assume competitividade perfeita do mercado de trabalho, salários flexíveis, além de competição monopolística e rigidez de preços - que torna a política monetária não neutra. É importante notar que duas variáveis apresentam um papel central no equilíbrio dinâmico: o hiato do produto e a taxa de juros natural. O hiato do produto é definido como o desvio do logaritmo da produção corrente e do logaritmo do seu nível natural que corresponde ao nível de equilíbrio na ausência de rigidez nominal. Da mesma forma, a taxa de juros natural refere-se ao equilíbrio, taxa de juros real na ausência de rigidez nominal. Assim, a curva IS determina o hiato do produto pelo desvio da taxa real da taxa natural de juros e, se a política monetária afeta a taxa real de juros, então as políticas monetárias atual e esperada afetam a demanda agregada.

Um aspecto relevante do modelo é que a inflação depende apenas das expectativas futuras de inflação e não do produto atual ou da inflação passada. Além disso, o Banco Central também segue uma regra de política monetária olhando para frente - *forward looking interest rate rule* – de modo que a taxa de juros é alterada em resposta a mudanças nas expectativas de inflação e do produto.

Outro ingrediente fundamental do modelo são os choques, o fato de que as equações são lineares, e que os termos constantes assumem valor zero, ou seja, essas variáveis devem ser interpretadas como os valores de equilíbrio.

Para analisar o modelo, comecemos pelo caso onde não há correlação serial nos ruídos ($\rho_{IS} = \rho_\pi = \rho_{MP} = 0$). Nesse caso, por causa da inexistência de elementos “*backward-looking*” e a inexistência de informações sobre os valores futuros dos ruídos, não existe

nenhuma força que faça com que as expectativas dos agentes saiam do equilíbrio no futuro. Assim, $E_t[y_{t+1}]$ e $E_t[\pi_{t+1}] = 0$ e:

$$y_t = u_t^{IS} - \frac{1}{\theta} u_t^{MP} \quad (7)$$

$$\pi_t = k u_t^{IS} + u_t^\pi - \frac{k}{\theta} u_t^{MP} \quad (8)$$

$$r_t = u_t^{MP} \quad (9)$$

Essas expressões mostram os efeitos de choques na economia, e a resolução completa do modelo pode ser verificada em Romer (2018).

Considerando primeiro um choque de política monetária contracionista, observa-se que ela eleva os juros e diminui o produto e a inflação. Já um choque positivo na demanda agregada aumenta o produto e a inflação, mas não tem impacto na taxa de juros real. Por fim, um choque de inflação desfavorável aumenta a inflação, mas não tem outros efeitos.

Passemos agora ao caso onde há correlação serial nos ruídos. Nesse caso é utilizado o método dos coeficientes indeterminado – a resolução do modelo também pode ser verificada em Romer (2018) – e assumimos valores para os parâmetros para analisar os efeitos dos choques sobre a economia.

Considerando primeiro um choque de política monetária, intuitivamente, o fato de que o produto e a inflação estarão abaixo do normal nos períodos futuros impede o aumento na taxa de juros real. Mas, por causa da queda do produto futuro, uma queda maior no produto presente é necessária para satisfazer a equação de Euler das famílias em resposta a um aumento na taxa real de juros. Tanto a queda maior no produto atual, quanto a queda do produto futuro aumentam a resposta da inflação. Conforme a economia retorna ao seu equilíbrio, a taxa real está acima da taxa normal, o produto está crescendo – ainda abaixo do seu normal – e a inflação está aumentando. Os resultados são consistentes com a curva IS e com a curva de Phillips novo-keynesiana.

Considerando agora um choque na IS. De novo, o impacto de um choque futuro no produto aumenta a resposta do produto via a curva IS. Ainda, os aumentos na inflação futura amplificam a resposta da inflação via curva de Phillips. E com o produto e inflação futura

afetados pelo choque, a taxa real de juros corrente responde através da *forward looking interest rate rule*.

Por fim, vamos considerar um choque de inflação. Conforme descrito anteriormente, sem correlação serial, há impacto somente sobre a própria inflação e não há impacto sobre o produto ou sobre as taxas reais de juros. Já com correlação, a persistência do choque de inflação aumenta a resposta à inflação corrente (através do componente *forward looking* da curva de Phillips) e aumenta a taxa de juros real (através do componente de expectativa de inflação da *forward looking interest rate rule*). Já o aumento da taxa de juros real reduz o produto corrente através da curva IS e esse efeito é aumentado pelo fato de que a curva IS também é *forward looking*.

2.2 O QUE É A TAXA DE JUROS NEUTRA?

As teorias sobre a taxa natural de juros têm ocupado papel central na literatura macroeconômica e nas discussões práticas de política monetária há mais de um século, com o trabalho de Wicksell (1936) sendo o pioneiro no assunto.

Wicksell (1936) – publicado originalmente em 1988 – descreveu a taxa natural de juros de diversas maneiras diferentes. Especificamente, ele definiu a taxa natural como (i) a taxa de juros que iguala poupança e investimento; (ii) a produtividade marginal do capital; (iii) a taxa de juros que é consistente com a estabilidade de preços agregados. Além disso, vale destacar três propriedades que ele atribuiu à taxa natural. A primeira é a noção de que a taxa de juros é consistente com o equilíbrio da economia; a segunda que é uma característica da economia de longo prazo; e, em terceiro, a ideia de que a taxa natural de juros não é fixa em um determinado valor, mas que ela flutua de acordo com mudanças na tecnologia que afetam a produtividade do capital. Essas definições tiveram influência no trabalho de outros economistas, como Friedman (1968) e Phelps (1968), cuja taxa natural de desemprego é vista como análoga a taxa de juros natural de Wicksell (1936).

Mais recentemente, a taxa de juros natural ressurgiu tendo um papel importante na determinação do produto e da inflação nos modelos de equilíbrio geral novo-keynesianos, conforme apresentado por Clarida, Galí e Gertler (2000). Nesses modelos, há a presença de rigidez de preços e a taxa natural é definida como a taxa de juros real de equilíbrio que seria obtida com ajuste nominal completo. Além disso, presume-se que os agentes formam expectativas racionais, de modo que a taxa natural pode ser definida como a taxa de juros real

obtida em um equilíbrio de expectativas racionais e preços flexíveis. Assim, a taxa natural de juros poderia ser equivalente à taxa de juros real em modelos competitivos do ciclo real de negócios como em Kydland e Prescott (1982) ou em um modelo com competição imperfeita onde os preços se ajustam completamente a cada período para o seu nível desejado, como em Rotemberg e Woodford (1996).

Uma das contribuições dos modelos de equilíbrio geral novo-keynesianos é a possibilidade de se obter expressões para a taxa natural em função de fatores subjacentes à economia. A receita para tal é encontrar a taxa de juros real de equilíbrio quando os preços são perfeitamente flexíveis. Em outras palavras, quando a produção é igual ao produto natural. Assim, de maneira geral, a taxa natural de juros é determinada por vários fatores, como as preferências das famílias, sua disposição para substituir o consumo ao longo do tempo, a produtividade marginal do capital, os choques que afetam a poupança das famílias, mudanças nos gastos do governo, entre outros. A rigidez real da economia afeta os resultados de equilíbrio mesmo quando os preços estão totalmente flexíveis. Portanto, a rigidez real influencia diretamente a taxa natural de juros.

Segundo Amato (2005), deve-se enfatizar três propriedades gerais da taxa natural de juros segundo essa definição: (i) é uma taxa de juros de um período; (ii) é uma taxa de juros real de equilíbrio onde o equilíbrio é definido período a período; (iii) está sujeita a variações em horizontes curtos e longos. Resume-se, então, que a taxa natural de juros é uma taxa de curto prazo que é definida de período a período - e que pode variar - com uma tendência central de longo prazo - que também pode mudar ao longo do tempo. De acordo com Blinder (1999), o juro real de longo prazo depende dos fundamentos da economia e de fatores estruturais como produtividade, preferências intertemporais, prêmios de risco soberano, dívida pública, prêmios de risco de inflação e questões institucionais. São fatores diretamente associados ao comportamento da poupança no longo prazo. Já o juro real de equilíbrio de curto prazo, depende do juro real de longo prazo e de elementos conjunturais – gasto do governo, variações nas taxas de câmbio real, ritmo de crescimento da economia global, entre outros. Neste trabalho, como será utilizado um modelo com fundamentos econômicos, será estimada a taxa natural de juros de longo prazo.

Além dessas definições de taxa de juros neutra, é importante observarmos a diferença entre taxa de juros real *ex-ante* e *ex-post*, conforme apresentado por Gottschalk (2001). Segundo ele, a taxa de juro *ex-ante* é definida como a diferença entre taxa de juros nominal atual e a taxa esperada da inflação ao longo do mesmo período. Já a taxa *ex-post* é a taxa de juros acumulada

durante um período passado com a inflação efetiva do mesmo período. O Banco Central do Brasil, utiliza a mesma definição, conforme indicado no Relatório Trimestral da Inflação (março, 2017). Ainda segundo a autoridade monetária, a utilização da taxa de juros real *ex-ante* é mais relevante, pois é a taxa utilizada na tomada de decisão pelos agentes econômicos. Por esse motivo, essa é a taxa que será utilizada no presente trabalho.

A busca por indicadores para guiar a política monetária continua em desenvolvimento, mas a taxa natural de juros pode ser uma ferramenta importante na formulação de políticas dos bancos centrais. A sua importância está relacionada com os objetivos da política de cada instituição. Como os principais mandatos atuais dos Bancos Centrais é atingir a estabilidade de preços, com um hiato do produto estável, a taxa natural é, em princípio, um dos principais benchmarks para a condução da política monetária (AMATO, 2005).

2.3 DETERMINANTES DA TAXA DE JUROS NEUTRA

Quando falamos sobre a taxa de juros estrutural da economia, há diversos trabalhos que a estimam para diversas economias, com a utilização de diferentes modelos. No entanto, são poucos os estudos - Archibald e Hunter (2001), McCririck e Ress (2017) e, Borges e Pessoa (2021) - que analisam mais a fundo os fatores determinantes dessa taxa, sejam eles determinantes estruturais ou conjunturais. A análise desses estudos sobre determinantes da taxa de Juros neutra foi essencial para a realização deste trabalho, principalmente na escolha das variáveis que seriam incluídas no modelo.

Do ponto de vista teórico, a taxa de juros neutra é determinada pelos fundamentos da economia. No modelo novo-keynesiano apresentado anteriormente, por exemplo, a taxa neutra depende, principalmente, da taxa de desconto intertemporal (que afeta a poupança), do crescimento da produtividade e da flexibilidade do mercado de trabalho (GALÍ, 2002). Ainda, Archibald e Hunter (2001) resumem os fatores que determinam a taxa neutra da seguinte forma: (i) fatores que afetam as decisões de poupança e de investimento dos agentes econômicos; (ii) prêmio de risco específico do país e empecilhos ao fluxo de capitais internacionais.

Já McCririck e Ress (2017) argumentam que para uma pequena economia aberta, como é o caso do Brasil, tanto fatores internos quanto externos influenciam a taxa de juros neutra. Por isso, seria necessária a inclusão de alguma variável que capture o ciclo econômico internacional. No mesmo sentido, Borges e Pessoa (2021) argumentam que, principalmente em países exportadores líquidos de bens primários, é natural que a variação dos termos de troca

tenha efeito relevante sobre a demanda interna, pois ganhos de termos de troca elevam a renda disponível e, portanto, a demanda agregada. Além disso, podem gerar outros efeitos que também podem afetar a demanda, como a valorização da taxa de câmbio em países com regime de câmbio flutuante. De fato, os autores encontram que se a taxa de crescimento interanual dos termos de troca for de 1%, o juro neutro se eleva em 0,35%.

Além disso, segundo Borges e Pessoa (2021), a aversão ao risco do país também tem papel fundamental da taxa estrutural, pois com o seu aumento, o capital sai do país e há menos investimentos. Isso é corroborado por Miranda e Muinhos (2003) cujo estudo confirma correlação positiva entre o risco país e a taxa de juros. Segundo eles, um aumento de 100 pontos-base no risco acarreta um aumento praticamente igual na taxa de juros natural.

Borges e Pessoa (2021), classificam, ainda, as variáveis que formam a taxa em 4 grupos: renda permanente, ciclo internacional, fiscal e parafiscal e outros. Como destaque, eles encontraram que a forte queda do risco país entre 2004 e 2007 - 12 pontos percentuais - é um dos principais componentes do juro neutro estrutural. Ainda, observaram que, ao longo do período da grande moderação que antecede a grande crise financeira global de 2008, houve forte elevação da contribuição do ciclo mundial, chegando a adicionar 5,9 pontos percentuais ao juro neutro em 2007. Já no final do governo Lula, em 2010, o impulso fiscal e o entusiasmo com a descoberta do pré-sal estavam no auge, adicionando 7,2 pontos percentuais ao juro neutro. Isso, segundo eles, explica boa parcela dos juros elevados no primeiro mandato de Dilma.

Goldfajn e Bicalho (2011) demonstram que os principais responsáveis pela redução dos juros de equilíbrio no Brasil foram a redução do risco país, da dívida pública e elevação da proporção de crédito na economia. No entanto, eles argumentam que para que o crédito contribua para a redução da taxa de juro real de equilíbrio de longo prazo é necessário que sua expansão seja determinada por fatores estruturais como a redução da assimetria de informação e o avanço institucional. Forçar o aumento do crédito através de políticas direcionadas tende a ter o efeito contrário, ou seja, aumenta o juro real de equilíbrio.

Por fim, é importante notar que a política fiscal impacta a taxa de juros domésticas via 3 caminhos: i) gastos mais contidos reduzem o déficit do governo, ampliando a poupança doméstica; ii) redução dos investimentos públicos diminui a demanda por recursos financeiros; e iii) contas públicas mais saudáveis melhoram a percepção de risco do país (GOMES, 2020).

Percebe-se, então, que fatores que afetam a poupança e o investimento são determinantes para a taxa de juros estrutural de um país. No Brasil, em especial, variáveis

fiscais, de crédito e o risco país parecem ter contribuído para a queda da taxa natural no período recente. Ainda, por ser uma economia aberta, é importante incluir no modelo alguma variável que capture o ciclo internacional. É diante disso, que o modelo neste trabalho utiliza das variáveis:

EMBI – Medida de risco país. Foi utilizado em detrimento do CDS pois, conforme apontado por Borges e Pessoa (2021), a utilização do CDS piora todas as propriedades estatísticas do trabalho. Segundo os autores, as estimativas sugerem que o mercado considera que a medida de risco, mesmo quando se trata de juros para vencimento em um ano, é referenciada no EMBI+ Brasil.

Termos de troca – Foi selecionada pois, para uma pequena economia aberta, a taxa natural de juros sofre influência de variáveis internas e externas. Ainda, no caso de um país exportador – como é o caso do Brasil – a variação dos termos de troca tem efeito relevante sobre a demanda interna (Borges e Pessoa, 2021).

Dívida/PIB – Medida fiscal que, como apresentado anteriormente, é um fator considerado fundamental para a redução/elevação das taxas de juros domésticas de um país.

Desembolso do BNDES – Medida de crédito utilizada, dado que a sua expansão contribui para a redução da taxa de juro real de equilíbrio de longo prazo. No entanto, vale lembrar que a relação é válida somente quando a sua expansão é estrutural. Ao falarmos de crédito direcionado, como é o caso, esperamos que uma variação positiva na variável aumente o juro real de equilíbrio.

Mais informações sobre a metodologia e a base de dados utilizada podem ser encontradas no capítulo a seguir. Antes, no entanto, serão apresentadas outras estimativas para a taxa de juro neutra que já foram realizadas.

2.4 DIFERENTES ESTIMATIVAS PARA A TAXA DE JUROS NEUTRA

Quando olhamos para a literatura de estimação de taxa de juros neutra, a principal referência, tanto no cenário nacional quanto no cenário internacional, é o modelo proposto por Laubach e Williams (2003). Ele está baseado na definição de que a taxa de juros é aquela obtida no contexto de equilíbrio dos mercados com preços flexíveis e expectativas racionais. Assim, a taxa de juros natural seria a taxa de juros real compatível com o produto no seu potencial e inflação estável. O modelo é apresentado no formato de Espaço-Estado e é composto por seis equações, sendo duas de medida e quatro de estado.

Entretanto, apesar de ser amplamente utilizado, este modelo apresenta uma série de problemas de estimação – principalmente quando aplicado para outros países que não os Estados Unidos. Basdevant, Björkstén e Karagedikli (2004), por exemplo, argumentam que essa metodologia pode não ser a mais apropriada para pequenas economias abertas – como é o caso do Brasil. O modelo foi reespecificado por Holston, Laubach e Williams (2017) que estimaram a taxa estrutural para EUA, Canadá, Área do Euro e Reino Unido, mas, mesmo assim, outras metodologias envolvendo fatores estruturais e conjunturais foram sendo desenvolvidas.

Na literatura internacional, diversos bancos centrais estimaram as taxas de juros de seus países ao longo do tempo. Um deles foi o Banco Central do Canadá, com o estudo de Chen e Dorich (2018). Quatro modelos diferentes foram utilizados, incluindo fatores domésticos e internacionais: (i) paridade de juros pura - onde é considerada mobilidade perfeita de capitais e a taxa natural deveria coincidir com a taxa natural global; (ii) modelo de crescimento neoclássico - leva em conta somente fatores domésticos; (iii) modelo de formato reduzido - combina fatores internos e externos, mais balanceado que os dois primeiros; (iv) modelo de gerações sobrepostas - estrutural para pequena economia aberta, onde a taxa de juros natural é dada pela soma da taxa natural global e um prêmio de risco. Como resultado, os autores encontraram que a taxa nominal neutra de juros estava entre 2,5% e 3,5% no período.

O Banco Central da Turquia (US, 2018) também realizou estimações para a taxa de juros do país durante o período entre o primeiro trimestre de 2002 e o último trimestre de 2015. Foram adotados modelos baseados no modelo novo-keynesiano, constituído de uma Curva de Phillips, uma curva IS e uma regra de Taylor "*backward-looking*". Além disso, ao considerar os parâmetros variando no tempo, foi utilizado o filtro de Kalman. A autoridade monetária encontrou que, durante o período analisado, a taxa de juros natural se moveu em conjunto com a taxa de juros real, mas que a série é bem mais sensível a grandes choques. A crise global é avaliada como um choque significativo que mudou a dinâmica da economia - fazendo com que fossem implementadas políticas não convencionais e extraordinárias.

O Banco Central da Islândia, por sua vez, com Daniélsson, Helgason e Thórarinnsson (2016), utilizou diferentes metodologias para estimar a taxa natural de juros. Primeiro, foram realizadas estimativas com base na produtividade do capital. Em seguida várias estimativas foram realizadas com base na equação de Euler. Por fim, foram usados modelos de espaço-estado, incluindo o modelo de Laubach e Williams (2003). Eles encontraram que, para o país, o modelo de Laubach e Williams (2003) parece ser o mais apropriado.

Discussões sobre a taxa de juros neutra também são frequentes no Banco Central Europeu (BCE). Brand, Bielecki, Penalver (2018), no artigo *"The natural rate of interest: estimates, drivers, and challenges to monetary policy"* documentaram uma queda prolongada da taxa de juros natural nas economias avançadas, impulsionada pelo envelhecimento da população, declínio do crescimento da produtividade, aumento das margens de lucro e aumento da aversão ao risco na sequência da crise mundial. Os autores alertaram que, embora as estimativas para as taxas de juros neutra sejam incertas e dependentes do modelo utilizado, a maioria foi negativa após a crise financeira, observação muito importante para avaliar a orientação da política monetária.

Mais recentemente, destaque para os artigos de Wang, Kwan (2021) e Zhang, Martínez-García, Wynne, et al (2021). Wang, Kwan (2021) medem as taxas de juros naturais de onze economias, incluindo economias da OCDE e do BRICS. Para tal, eles utilizam uma estrutura coerente de autoregressão de vetores de parâmetros variáveis no tempo. Eles descobriram que as taxas de juros naturais da OCDE vêm caindo, enquanto as taxas dos BRICS não apresentam tendência em comum. Assim, a tendência descendente da taxa natural de juros é um fenômeno dos países desenvolvidos e não um fenômeno global.

Zhang, Martínez-García, Wynne, et al (2021), por sua vez, estimam a taxa natural de juro para seis pequenas economias abertas (Austrália, Canadá, Coreia do Sul, Suécia, Suíça e Reino Unido), utilizando um modelo estrutural Novo Keynesiano, usando técnicas Bayesianas. Eles descobriram que o modelo de economia aberta se adaptou melhor em todas as economias pesquisadas e que as taxas naturais de juros dos seis países se deslocaram para baixo nos últimos 35 anos.

Já na estimação para outros países emergentes e para o Brasil, existem diversos estudos que estimam a taxa de juros neutra, através de diferentes métodos. Alguns dos destaques são os trabalhos de Miranda e Muinhos (2003), Muinhos e Nakane (2006) e, Magud e Tsounta (2012).

Miranda e Muinhos (2003) tinham como principal objetivo estimar a taxa de juros para o Brasil com o maior número de modelos diferentes, além de estimar um painel com 13 países emergentes tentando relacionar o risco soberano da dívida com a taxa de juros praticada por estes países. Os métodos de estimação incluem: taxas médias históricas, modelos estruturais, juros de longo prazo da economia e câmbio. As estimações em termos da curva IS apontam valores muito voláteis dependendo da especificação. Enquanto os países desenvolvidos apresentaram uma taxa de juros reais média de 2,1% para o período de 1960 a 1999 e de 3,7% para as décadas de 80 e 90, os valores mais razoáveis para os juros médios nesse segundo

período são de aproximadamente 4% a 5% para o México, 11 a 14% para o Brasil, e 8% a 12% para a Argentina. Já nos modelos de crescimento de longo prazo, o resultado para os juros de equilíbrio fica entre 6,7% e 15,3% para o Brasil. Por fim, o modelo indica forte correlação entre o risco e a taxa de juros e indica que, independentemente da metodologia utilizada, o país possui valor de taxa de juros acima da média mundial.

Muinhos e Nakane (2006) estendem o estudo anterior para uma amostra de 20 países e o objetivo é entender porque a taxa de juros neutra, apesar de ter apresentado queda, ainda era elevada quando comparada aos seus pares. Novamente, muitos métodos foram utilizados, (i) extrair a taxa de equilíbrio da IS; (ii) extrair a taxa natural de juros de estado estacionário do produto marginal do capital; (iii) capturar variáveis relevantes e seus efeitos fixos, tendo como variável dependente a taxa de juros real; (iv) extrair a expectativa de inflação do spread entre a taxa pré-fixada e as notas do tesouro indexadas a inflação. Os resultados mostraram estimativas consistentes entre as diferentes metodologias utilizadas, mostrando a taxa de juros natural brasileira acima dos seus pares. A incerteza jurisdicional, a produtividade marginal líquida do capital e o risco país são fatores que explicam essa taxa mais elevada.

Já, Magud e Tsounta (2012) estimam a taxa real neutra para 10 países da América Latina que têm regimes de metas de inflação consolidado - ou que a adotaram recentemente - usando uma série de metodologias comumente utilizadas na literatura. Eles avaliaram que as taxas naturais diminuíram na última década, principalmente nas economias da região mais desenvolvidas. Eles avaliaram que, naquele momento, a orientação monetária (medida pelo hiato da taxa de juros) era neutra na maioria das regiões pesquisadas.

O Banco Mundial, através do trabalho de Ruch (2021), também estimou a taxa de juros neutra para um conjunto de países emergentes. Foram utilizados os modelos de Laubach e Williams (2003) para uma pequena economia aberta, uma Regra de Taylor dinâmica e um modelo de vetor autoregressivo variante no tempo (TVP-VAR). Os resultados indicam que ocorreu uma queda significativa das taxas neutras nos países estudados, desde o início dos anos 2000. Nesse ano, a taxa neutra média estimada era de 6,2%, caindo para 2,2% no final de 2019.

Especificamente para o Brasil, destaque no estudo desenvolvido por Barbosa, Camêlo e João (2016) que estimam a taxa de juros neutra com o objetivo de encontrar uma Regra de Taylor para o Brasil no período de 2003 – 2015. Os resultados demonstram que variáveis incluídas para as economias abertas, como a variação mensal da taxa de câmbio real, se mostram significantes no processo decisório da autoridade monetária brasileira e, assim, a

hipótese de economia aberta e pequena não deve ser ignorada - algo que já havia sido indicado nos trabalhos sobre determinantes da taxa de juros neutra.

Destaque ainda, para Moreira e Portugal (2019) que estimam a taxa natural de juros entre o terceiro trimestre de 1999 e o primeiro trimestre de 2018. O modelo reespecificado por Holston, Laubach e Williams (2017) é utilizado. Os resultados indicaram queda na taxa natural, com valores mais baixos na recessão de 2015-2016. A última observação da amostra indicou taxa natural de 1,4% (*ex-ante*). Ao analisar o hiato dos juros e a condução da política monetária, foram identificados três períodos: (i) 1999 - 2007: política contracionista; (ii) 2007 -2014: política neutra; e (iii) 2014 - política contracionista, mesmo com recessão.

Barcellos Neto e Portugal (2009) utilizaram filtros estatísticos, uma regra de Taylor dinâmica e o modelo de Laubach e Williams (2003) para estimar a taxa de juros neutra brasileira do período de 1999 até 2005. Os resultados mostraram que as decisões de política monetária geraram uma taxa de juros real ao redor do seu valor de equilíbrio estimada, de modo que, durante o período analisado, a autoridade monetária brasileira não pode ser caracterizada como conservadora.

Além desses estudos, instituições financeiras, e o próprio Banco Central divulgam estimativas e estudos sobre as taxas neutras. O Santander, com Gomes (2020), através de 5 metodologias distintas - incluindo um modelo econométrico com fundamentos econômicos - encontrou estimativas com um intervalo relativamente estreito: entre 2,4% e 3,4%, com uma média de 2,7% a.a. Já o Itaú *Asset Management* (2017), através de 9 metodologias distintas, encontrou um intervalo que vai de -1,42% até 6,27% (mediana 5,49%). Por fim, no relatório trimestral da inflação de setembro de 2012 foi publicado um artigo intitulado “Evolução da Taxa de Juros Real de Equilíbrio no Brasil”. Foi encontrado por eles que as taxas de juros neutras variam dependendo do método utilizado, mas que os resultados encontrados mostram tendência de queda.

De maneira geral, percebe-se que os estudos aplicados ao Brasil indicam uma tendência de redução da taxa natural de juros neutra, independentemente do modelo utilizado. Além disso, conclui-se que o período após a adoção do regime de metas de inflação até o momento presente foi marcado por intervalos de política monetária contracionista – com desaque para o período a partir da crise de 2014. Na tabela abaixo é possível encontrar os principais resultados numéricos para a estimação da taxa natural de juros do Brasil em cada um dos trabalhos estudados, de acordo com a metodologia utilizada em cada um deles.

Tabela 1 – Estimações da Taxa de Juros Neutra e Resultados

| Autores | Metodologia | Período analisado | Taxa Natural estimada (% a.a.) |
|---|---|-------------------|---|
| Banco Central - Relatório Trimestral da inflação Dezembro de 2019 | Expectativas dos agentes de mercado na pesquisa Focus | 2010 -2019 | 2,9% (novembro de 2019) |
| Banco Central - Relatório Trimestral da inflação Setembro de 2012 | (i) Filtro de Kalman de uma regra de Taylor onde BC é forward-looking; (ii) estimação recursiva via modelo estrutural de pequeno porte; (iii) Filtro de Kalman no modelo de LW adaptado | 1999 - 2012 | Não mostra valores, mas todos os modelos mostram recuo da taxa de equilíbrio no país nos últimos dez anos |
| Barbosa, Camêlo e João (2016) | (i) Filtro HP para economia aberta | 2003 - 2015 | 7% (2015) |
| Barcellos Neto e Portugal (2009) | (i) Filtro HP; (ii) Filtro BP; (iii) Regra de Taylor; (iv) Modelo LW (2003) | 2000 -2005 | 7,49% (BP) 9,29% (HP) 7,15% (Regra de Taylor Dinâmica) 9,55% (Modelo espaço-estado) |
| Bicalho e Goldfajan (2011) | (i) Modelo estrutural de LP e Curva IS para estimar juros neutro de CP | 2002 -2009 | 8% (2008) |
| Candido e Neto (2017) | (i) Filtro HP com variáveis macroeconômicas | 2002 - 2016 | 1,3% (2016) |
| Ferreira e Mori (2014) | (i) Filtros estatísticos; (ii) VAR estrutural; (iii) Modelo LW (2003) | 2002 - 2012 | 8,7% (HP) 8,4% (SVAR) 6,7% (LW) |
| Gomes (2020) - Santander: Análises Econômicas | (i) Observação direta da taxa de juros real de LP (NTN-B de 10 anos); (ii) Estimativa BC; (iii) Filtro HP; (iv) Modelo econométrico | 2003 -2019 | 4,0% - 4,25% (2019) |
| Gottlieb (2013) | (i) Estimação IS com hiato nulo; (iii) Fundamentos econômicos; (iii) modelo LW(2003) | 2005 -2012 | 3,10 % (2012) |
| Itaú Asset Management (2017) | (i) Filtros Estatísticos; (ii) Instrumentos Financeiros; (iii) Regra de Taylor; (iv) Modelos Estruturais | 2000 - 2017 | 5,49% (Média modelos, 2017) |
| Magud e Tsounta (2012) | (i) modelo de suavização de consumo; (ii) paridade de juros descoberta; (iii) filtro HP; (iv) Tendência estocástica comum implícita; (v) Regra de Taylor dinâmica; (vi) Regra de Taylos aumentada da inflação esperada; (vii) modelo de equilíbrio geral | 2012 | 4,50% (DSGE) 4,50% (Paridade de Juros) 5,40% (Tendência estocástica comum implícita) 4,80% (Filtro HP) 5,50% (Curva IS e Phillips) 5,70% (Regra de Taylor dinâmica) |
| Miranda e Muinhos (2003) | (i) Taxas médias históricas; (ii) modelos estruturais; (iii) juros de longo prazo da economia e câmbio | 1980 - 2002 | 6,74% -15,30% |
| Moreira e Portugal (2019) | (i) LW (2003); (ii) Curva de Juros | 1999 - 2018 | 1,4% (2018) |
| Muinhos e Nakane (2006) | (i) extrair a taxa de equilíbrio da IS; (ii) extrair a taxa natural de juros de estado estacionário do produto marginal do capital; (iii) capturar variáveis relevantes e seus efeitos fixos, tendo como variável dependente a taxa de juros real; (iv) extrair a expectativa de inflação do spread entre a taxa pré-fixada e as notas do tesouro indexadas a inflação. | 1990 -2004 | 12,40% (Filtros) 11,11% (Curva IS) 10% (Produtividade Marginal do Capital) |
| Perrelli e Roache (2014) | (i) Filtros estatísticos; (ii) Curva de Juros; (iii) Modelo em estado-espaço | 2003 - 2013 | 7,2% (Filtros estatísticos) 3,4% (Curva de juros - 2013) 3% - 5,0% (Modelo espaço-estado) |
| Ribeiro e Teles (2013) | (i) Modelo LW; (ii) Modelo proposto Mesónnier e Renne - Modelo Espaço Estado e Filtro de Kalman | 2001-2010 | 8,19% (Modelo) 7,89% (HP) 8,20% (BP) |
| Ruch (2021) - Banco Mundial | (i) Modelo LW (2003) para uma pequena economia aberta; (ii) Regra de Taylor dinâmica; (iii) TVP-VAR | 2000 -2019 | 2,2% (Média Emergentes em 2019) |

Fonte: Elaboração própria (2022).

3 METODOLOGIA E DADOS

Após explicar as definições e determinantes da taxa de juros neutra, é importante apresentarmos os modelos que serão utilizados para a sua estimação. Sendo assim, este capítulo apresenta a metodologia utilizada nesta dissertação e os dados que foram utilizados. Primeiro será apresentado o filtro Hodrick-Prescott (HP). Em seguida, serão apresentados, brevemente, os modelos de espaço-estado, o filtro de Kalman e o método de máxima Verossimilhança.

3.1 FILTRO HODRICK-PRESCOTT

O primeiro método a ser utilizado neste trabalho para estimar a taxa de juros neutra da economia brasileira é o filtro estatístico Hodrick–Prescott (HP). Esse filtro consiste em decompor a série temporal em um componente de tendência e um componente cíclico, conforme pode ser visto na equação 10, onde g_t é o componente de tendência e c_t é o componente cíclico:

$$y_t = g_t + c_t, \quad (10)$$

É interessante notar que a utilização do Filtro HP é bastante criticada. Estudos como os de Harvey e Jaeger (1993) e Guay e St-Amant (1997) foram realizados no assunto, expondo críticas à utilização desse método estatístico. De maneira geral, os trabalhos alegam que a utilização do filtro gera resultados espúrios, além de existirem uma série de problemas relacionados ao processo de filtragem. Dentre esses problemas, podem-se citar: i) a natureza puramente estatística e mecânica dos métodos univariados que deixam de lado relações econômicas; (ii) subjetividade na eleição do parâmetro de suavização do filtro e (iii) distorção dos valores filtrados nas extremidades da série.

Entretanto, apesar dos problemas apresentados, esse método segue sendo amplamente utilizado na estimação da taxa de juros neutra. A facilidade de aplicação desse método é utilizada como justificativa para que os seus resultados continuem sendo aproveitados, principalmente, como base de comparação com o resultado de outros modelos. Esse é, inclusive, o principal objetivo da utilização dessa metodologia neste trabalho.

Conforme mencionado os filtros estatísticos têm como principal vantagem a facilidade na sua estimação. Entretanto, eles são bastante criticados justamente pelo seu caráter estatístico. De maneira geral, eles extraem uma tendência de longo prazo da variável, suavizada a partir da série original.

No caso dos juros, a abordagem é consistente com a equação de Fisher (1997). Na ausência de choques – a taxa de juros nominal é equivalente à soma da taxa de juros neutra real e a taxa de inflação que prevalece no longo prazo. No caso de países que possuem meta de inflação, o segundo parâmetro pode ser substituído por ela.

$$i = r + \pi \quad (11)$$

Assim, neste caso o filtro HP extrai a tendência (taxa de juros neutra) de longo prazo da variável, suavizada a partir da taxa de juro real *ex-ante*.

3.2 MODELOS ESPAÇO-ESTADO

Quando estamos utilizando modelos econométricos, geralmente estamos interessados em estudar o efeito de uma variável observável (x_t) sobre outra variável observável (y_t). O modelo em espaço-estado generaliza essa ideia e nos permite que uma variável observável (y_t), dependa de uma variável não observada, aqui denotada por s_t , equivalente a x_t , mas com a diferença de que é não observável. Essa variável também pode ser chamada de variável latente e, com essa definição, é possível escrever modelos generalizados, como o modelo apresentado na equação 12:

$$y_t = \alpha + h s_t + u_t \quad (12)$$

A equação acima representa uma versão simplificada do primeiro componente dos modelos de espaço-estado: a equação de medida. Ela também é conhecida como equação de observação e α e h são os seus parâmetros.

O segundo componente do modelo é a equação de transição ou equação de estado. A única restrição é que o estado do período corrente (s_t) deve depender do estado do período anterior (s_{t-1}). Assim, vamos considerar a equação 13 para o modelo generalizado.

$$s_t = c + fs_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (13)$$

onde, ε_t é um termo de erro e c e f são parâmetros. Essas duas equações formam um modelo univariado generalizado em espaço de estados.

Para montar a representação geral de um caso multivariado, vamos permitir que o modelo tenha n variáveis observáveis e k variáveis latentes. Além disso, vamos permitir que a variável observável dependa tanto de variáveis não observáveis quanto de variáveis observadas. A representação geral para o caso multivariado é dada por:

$$y_t = A'x_t + H's_t + v_t \quad (14)$$

$$s_t = c + Fs_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (15)$$

onde $v_t \sim N(0, R)$ e é não correlacionado com $\varepsilon_t \sim N(0, Q)$. Note que y_t, x_t, s_t, v_t e ε_t são matrizes e vetores e A, H, c e F também são matrizes e vetores. Abaixo é possível observar as dimensões de cada um desses elementos:

$$y_t = (n \times 1) \quad (16)$$

$$A' = (n \times m) \quad (17)$$

$$x_t = (m \times 1) \quad (18)$$

$$H' = (n \times k) \quad (19)$$

$$s_t = (k \times 1) \quad (20)$$

$$v_t = (n \times 1) \quad (21)$$

$$c = (k \times 1) \quad (22)$$

$$F = (k \times k) \quad (23)$$

$$s_{t-1} = (k \times 1) \quad (24)$$

$$\varepsilon_t = (k \times 1) \quad (25)$$

Essas equações são bastante gerais e acomodam a maior parte dos modelos econométricos lineares de séries temporais. Para a explanação ficar mais clara, um exemplo - adaptado de Martin, Hurn e Harris (2012) - utilizando taxa de juros será apresentado a seguir.

3.3 EXEMPLO DE MODELO ESPAÇO-ESTADO MULTIVARIADO

Vamos supor que a taxa de juros (r_t) é formada pela taxa de juros neutra (tendência) – r_t^* - e um componente transitório (cíclico) – u_t .

$$r_t = r_t^* + u_t, \quad u_t \sim N(0, \sigma_u^2) \quad (26)$$

$$r_t^* = r_{t-1}^* + \tau_{t-1} \quad (27)$$

$$\tau_t = \tau_{t-1} + e_t, \quad e_t \sim N(0, \sigma_e^2) \quad (28)$$

onde, a taxa de juros neutra no período t é definida pela taxa de juros neutra do período anterior (r_{t-1}^*), e τ_{t-1} que é inclinação e segue um passeio aleatório.

Agora, vamos colocar as três equações acima na representação do modelo espaço-estado. Primeiro, notamos que temos apenas uma variável observada, ou seja: $y_t = [r_t]$. Analogamente, $v_t = [u_t]$ e $R = [\sigma_u^2]$. Ainda, temos duas variáveis não observáveis, de modo que o vetor de estados será: $s_t = \begin{bmatrix} r_t^* \\ \tau_t \end{bmatrix}$.

Começando pela equação de medida, temos $A = 0$, já que não temos variáveis exógenas. Como no modelo a taxa de juros observada depende apenas de um dos estados (r_t^*), precisamos encontrar uma matriz $H's_t = r_t^*$. Como H' é uma matriz ($n \times k$), $n = 1$ (variável observada) e $k = 2$ (variáveis latentes), temos: $H' = [1 \quad 0]$, pois:

$$H's_t = [1 \quad 0] \begin{bmatrix} r_t^* \\ \tau_t \end{bmatrix} = r_t^* \quad (29)$$

E assim:

$$y_t = A'x_t + H's_t + v_t \quad (30)$$

$$r_t = 0x_t + [1 \quad 0] \begin{bmatrix} r_t^* \\ \tau_t \end{bmatrix} + u_t \quad (31)$$

$$r_t = r_t^* + u_t \quad (32)$$

Como pode-se perceber, conseguimos utilizar as equações do modelo e juros para escrever a equação de medida do modelo de espaço-estado. Precisamos agora encontrar o parâmetro c e F para escrevermos a equação de transição.

Observando a equação da taxa de juros neutra e da tendência, percebemos que: $c = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$. Para a matriz F ($k \times k$), temos que a taxa de juros neutra depende de duas variáveis latentes (r_{t-1}^* e τ_{t-1}), enquanto a tendência depende de uma variável latente (τ_t). Então: $F = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$.

Além disso, como temos apenas um choque nas equações de transição:

$$\varepsilon_t = \begin{bmatrix} 0 \\ e_t \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$Q = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \sigma_e^2 \end{bmatrix} \quad (34)$$

Assim,

$$s_t = c + F s_{t-1} + \varepsilon_t \quad (35)$$

$$\begin{bmatrix} r_t^* \\ \tau_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{t-1}^* \\ \tau_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ e_t \end{bmatrix} \quad (36)$$

$$r_t^* = r_{t-1}^* + \tau_{t-1} \quad (37)$$

$$\tau_t = \tau_{t-1} + e_t \quad (38)$$

Então, ao utilizarmos essas matrizes para formar a representação de espaço de estados, e com a hipótese de que $u_t \sim N(0, \sigma_u^2)$ e $e_t \sim N(0, \sigma_e^2)$, podemos utilizar o Filtro de Kalman para obter uma estimativa dos estados latentes. É esse filtro que será apresentado brevemente a seguir.

3.4 FILTRO DE KALMAN

Considerando a representação dos modelos estruturais na forma de espaço-estado, podemos utilizar o filtro de Kalman para obter uma estimativa dos estados latentes. O filtro, através de um algoritmo recursivo, permite a estimação da variável não observada a partir da variável observada.

A partir do modelo escrito na forma de espaço-estado, o filtro é utilizado para computar previsões ótimas para a média e variância do vetor de estado (vetor de variáveis latentes) μ_{t+1} de forma recursiva, a cada nova observação de y_t . Considerando o modelo espaço-estado descrito anteriormente, o filtro de Kalman pode ser derivado sobre a premissa de que o vetor de estado inicial $\mu_1 \sim (a_1, P_1)$ é conhecido. O objetivo é a atualização do conhecimento acerca do vetor estado a cada nova observação disponível no tempo t . Assim, deseja-se obter a distribuição condicional do vetor de estado μ_{t+1} para $t = 1$ a N com base em y_t , o conjunto de informações até o tempo y_t .

É interessante notar que como há a premissa de que todas as distribuições consideradas no sistema são normais, as distribuições condicionais de subconjuntos de variáveis dados outros subconjuntos de variáveis também são normais. Assim, a distribuição condicional de μ_{t+1} é dada por:

$$\text{Média Condicional: } a_{t+1|t} = E [\mu_{t+1}|Y_t] \quad (39)$$

$$\text{Variância Condicional: } P_{t+1|t} = \text{Var} [\mu_{t+1}|Y_t] \quad (40)$$

Para simplificar, denota-se $a_{t+1} = a_{t+1|t}$ e $P_{t+1} = P_{t+1|t}$. Ainda, considerando que μ_t dado o conjunto de informação Y_{t-1} tem distribuição $N(a_t, P_t)$, pode-se mostrar que a_{t+1} e P_{t+1} podem ser calculados recursivamente através das equações do filtro de Kalman. Segundo Durbin e Koopman (2012) isso acontece ao combinar os passos de atualização e previsão do filtro.

$$a_{t+1} = T_t a_t + c_t + k_t v_t \quad (41)$$

$$P_{t+1} = T_t P_t L'_t + U_t Q_t U'_t, \quad (42)$$

onde, $v_t = y_t - E [y_t|Y_{t-1}] = y_t - S_t a_t$, que é o erro de previsão a um passo à frente dado o conjunto de informação Y_{t-1}

$$F_t = Var [v_t] = S_t P_t S'_t + H_t \quad (44)$$

$$k_t = T_t M_t F_t^{-1}, \text{ que é o ganho de Kalman} \quad (45)$$

$$M_t = P_t S'_t \quad (46)$$

$$L_t = T_t - k_t S_t \quad (47)$$

Além da estimação recursiva, o filtro de Kalman conta com equações de suavização que permitem basear a estimação do vetor de estado na amostra completa de observações de $t = 1$ a N . Seja Y_N o conjunto de informações podemos determinar a média e variância de estados suavizados:

$$\mu_t = E [\mu_{t+1}|Y_N] \quad (48)$$

$$V_t = Var [\mu_{t+1}|Y_N] \quad (49)$$

Considerando, ainda que a_1 e P_1 são conhecidos, mostra-se que o vetor e a variância de estado suavizados podem ser obtidos através das seguintes equações recursivas backwards:

$$\mu_t = a_t + P_t x_{t-1} \quad (50)$$

$$V_t = P_t + P_t W_{t-1} P_t \quad (51)$$

$$x_{t-1} = S'_t F_t^{-1} v_t + L'_t x_t \quad (52)$$

$$W_{t-1} = S'_t F_t^{-1} S_t + L'_t W_t L_t, \quad (53)$$

onde, $x_N = 0$ e $W_N = 0$

Um aspecto relevante, é que os resultados anteriores partiram da premissa de que o vetor de estados iniciais $\mu_1 \sim (a_1, P_1)$ era conhecido. No entanto, na maior parte dos problemas práticos, ao menos algum elemento do vetor não é conhecido. Nesse caso, há métodos para começar as séries tratando dessa situação. Esse procedimento é conhecido como inicialização e pode ser visto em maiores detalhes em Durbin e Koopman (2012).

Para a derivação do Filtro de Kalman trabalhamos com a premissa de que as matrizes do sistema são todas conhecidas. Contudo, há de se considerar que alguns elementos nestas matrizes dependem de um vetor de parâmetros desconhecidos, chamados de hiperparâmetros. Nesse caso, eles serão estimados por máxima verossimilhança.

3.5 ESTIMAÇÃO POR MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA

O método de Máxima Verossimilhança obtém a estimativa mais verossímil dentro de uma amostra para o parâmetro populacional desconhecido, ou seja, a estimativa que maximiza a probabilidade da amostra em questão ocorrer. Este procedimento, assim como o método dos mínimos quadrados, permite a estimação dos parâmetros de modelos econométricos e a realização de testes de hipóteses. Abaixo serão apresentados, brevemente, a função e o estimador genérico de máxima verossimilhança, conforme apresentado por (Souza, 2018).

Considerando uma amostra aleatória simples (X_1, X_2, \dots, X_n) da distribuição de uma variável aleatória X com função densidade $f(x_i; \theta)$ onde, θ é um escalar ou vetor, representando o parâmetro populacional desconhecido, temos a seguinte função de verossimilhança:

$$L(\theta; x) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta), \quad \theta \in \Theta \quad (54)$$

Onde, Θ é o espaço paramétrico do parâmetro populacional θ , ou seja, o conjunto de valores que o parâmetro pode assumir.

No entanto, para efeitos de otimização, é mais conveniente trabalhar com a função em logaritmo, pois logaritmo é uma função crescente. Assim, tem – se:

$$l(\theta; x) = \log L(\theta; x) = \log \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta) = \sum_{i=1}^n \log f(x_i; \theta) \quad (55)$$

A partir dessa função podemos definir o estimador de máxima verossimilhança que, conforme mencionado anteriormente, é o valor que maximiza a probabilidade de ocorrer a amostra observada. Assim, o estimador é definido como:

$$L(\hat{\theta}; x) \geq L(\theta; x) \text{ para todo } \theta \in \Theta. \quad (56)$$

3.6 HIATO DA TAXA DE JUROS

Por fim, para realizar a análise de condução da política monetária foi calculado o hiato da taxa de juros, ou seja, a diferença entre o juro real e juro natural estimado. Quando este hiato de juros é positivo pode-se considerar a política monetária como conservadora e quando este hiato de juros é negativo, pode-se considerar a política monetária como expansionista. Estrutura semelhante foi utilizado por Ribeiro e Teles (2013) e por Barcellos Neto e Portugal (2009).

É interessante notar que, segundo Barcellos Neto e Portugal (2009), há muita subjetividade em relação a que hiato de juros utilizar para se fazer uma avaliação apropriada sobre a política monetária. Para isso, seria melhor e avaliar algumas medidas de hiato de juros para analisar o que dizem em conjunto. No entanto, neste estudo a avaliação sobre a condução da política monetária será feita apenas através da medida de hiato de juros calculada pela diferença entre a taxa de juro real *ex-ante* e a taxa natural de juros, sendo que sendo que a taxa de juro real *ex-ante* foi calculada com base no Swap DI/Pré de um ano e a expectativa de inflação 12 meses à frente, conforme demonstrado a seguir.

3.7 DADOS

Aqui serão exibidas todas as séries de dados utilizadas para a elaboração deste trabalho - selecionadas conforme observado na revisão bibliográfica. Primeiro as séries serão descritas e, em seguida, serão apresentados os seus gráficos e suas principais medidas estatísticas. Os dados possuem periodicidade mensal e, para as séries que possuem periodicidades diárias, o valor de referência utilizado foi o valor da última data de cada mês. Por fim, o período analisado vai de junho de 2002 até setembro de 2021, data para qual se possuíam todos os dados necessários.

3.7.1 Descrição das variáveis

Para a aplicação do filtro Hodrick-Prescott e para a estimação do modelo com fundamentos econômicos foi utilizada a série mensal da taxa de juros real *ex-ante* (% a.a.). A série foi construída utilizando o Swap DI/Pré de um ano (% a.a.), descontando dele a inflação suavizada esperada em 12 meses (% a.a.), retirada do Sistema de Expectativas do Banco Central.

Tabela 2 – Taxa de Juros Real *ex-ante*

| Nome da Série | Fonte | Periodicidade |
|--|--|---|
| Swap DI/Pré (% a.a) | Bloomberg | Mensal (dados diários transformados em mensais onde o valor de referência utilizado foi o valor da última data de cada mês) |
| Inflação Suavizada em 12 meses (% a.a) | Sistema de Expectativas do Banco Central | Mensal (dados diários transformados em mensais onde o valor de referência utilizado foi o valor da última data de cada mês) |

Fonte: Elaboração própria (2022).

Já na estimação do modelo com fundamentos econômicos foram utilizados, além da taxa de juros real *ex-ante*, uma medida de risco país, uma variável de termos de troca, uma variável fiscal e uma variável de crédito. No caso da dívida pública e dos desembolsos do BNDES foi detectada a presença de sazonalidade. Por esse motivo, essas duas séries foram previamente tratadas para filtrar o efeito sazonal - o filtro sazonal utilizado foi o *X13-arima*. As fontes e suas periodicidades podem ser observadas na tabela abaixo:

Tabela 3 – Variáveis dos modelos

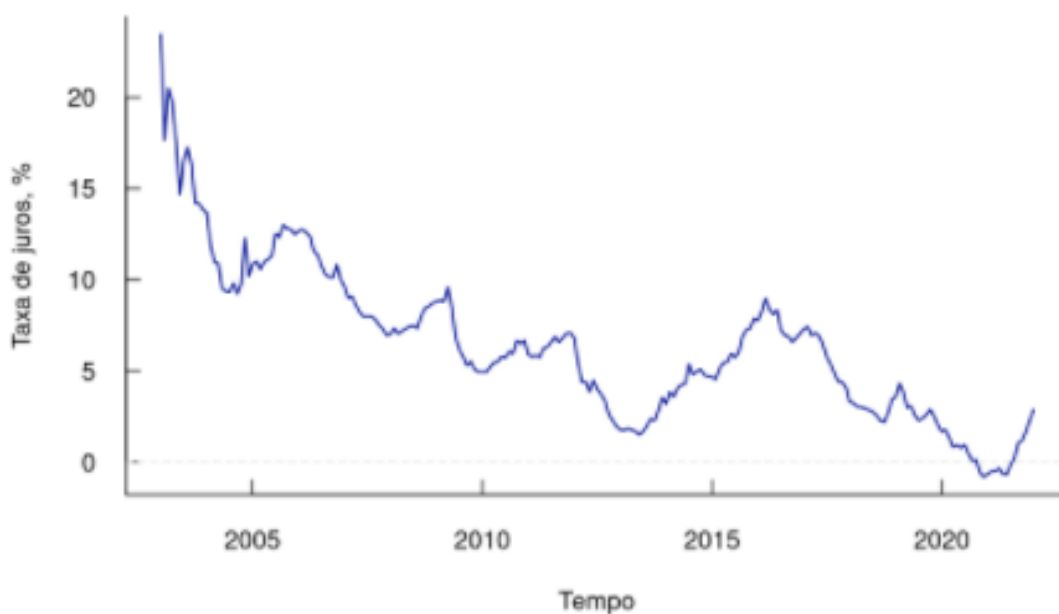
| Nome da Série | Fonte | Periodicidade |
|---|---------------|---|
| EMBI (pontos) | JP Morgan | Mensal (dados diários transformados em mensais onde o valor de referência utilizado foi o valor da última data de cada mês) |
| Termos de Troca (Individual Commodities Weighted by ratio of Net Exports to GDP, Recent, Rolling Weights) | FMI | Mensal |
| Razão Dívida Bruta/PIB (% do PIB) | Banco Central | Mensal |
| Desembolso BNDES (R\$ milhões) | BNDES | Mensal |

Fonte: Elaboração própria (2022).

3.7.2 Gráficos das variáveis

Através da figura 1 é possível perceber que, de fato, a taxa real de juros brasileira (*ex-ante*) apresentou queda expressiva nos últimos anos. No entanto, uma reversão desta tendência é observada em 2021. Na figura 2, vemos que os termos de troca aumentaram no período que vai de 2005 a 2010. Já período seguinte – até 2019 – há uma queda do indicador que, em 2020, voltou a aumentar – atingindo o maior valor do período analisado. Já na figura 3, observamos o comportamento da dívida pública brasileira em % do PIB e é notável o seu aumento expressivo a partir de 2015. Por fim, podemos perceber na figura 4 que os desembolsos do BNDES permanecem relativamente constantes – com exceção de dois momentos em 2010 – enquanto a figura 5 mostra a importante redução que ocorreu no risco país após 2002.

Figura 1 – Taxa de Juros real *ex-ante*



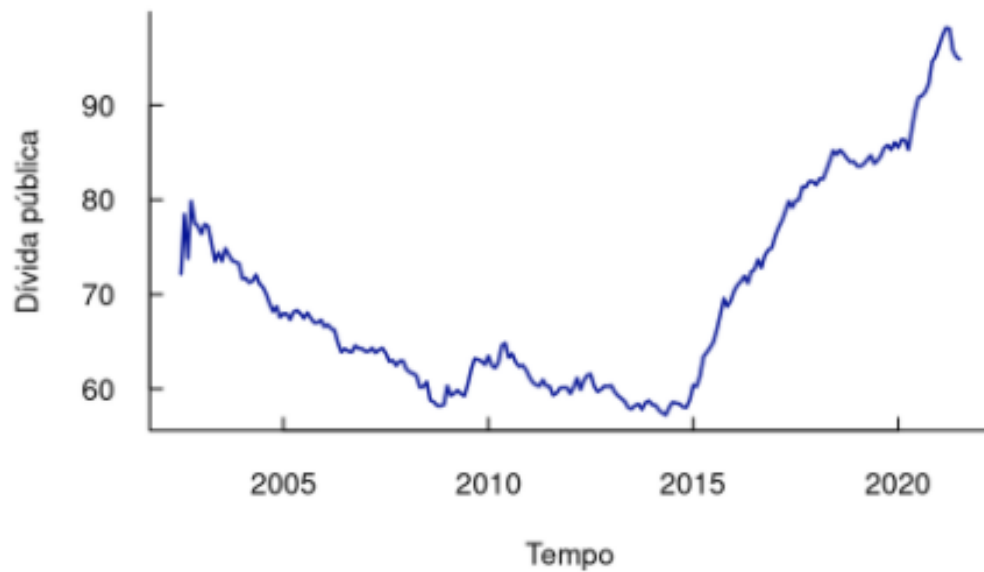
Fonte: Bloomberg e BCB (2021)

Figura 1 - Termos de Troca (pontos)



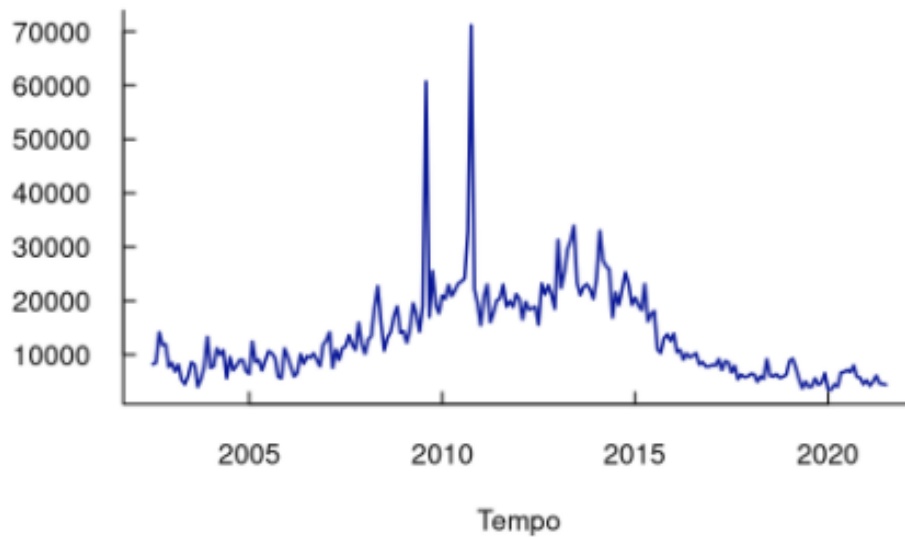
Fonte: FMI (2021)

Figura 2 - Dívida Pública (% do PIB)



Fonte: BCB (2021)

Figura 4 – Desembolso BNDES (R\$)



Fonte: BNDES (2021)

Figura 5 - EMBI (pontos)



Fonte: JP Morgan (2021)

3.7.3 Estatísticas descritivas das variáveis

Na tabela 4 estão apresentadas as estatísticas descritivas das variáveis de junho de 2002 até setembro de 2021.

Percebe-se que a amostra é composta por 229 observações e que, durante o período, a taxa de juros real *ex-ante* média foi de 6,49% a.a - com valor máximo de 23,45% a.a e mínimo de -0,80% a.a. Já os termos de troca apresentaram média de 99,00 pontos, com valor mínimo

de 97,48 pontos e máximo de 100,94 pontos – com desvio padrão bastante baixo. O risco país por sua vez, apresentou média de 355,91 pontos, com valor mínimo de 136,00 e máximo de 1045,00 pontos. Por fim, o valor médio da dívida bruta/PIB e do desembolso do BNDES foi de 70,16% do PIB e R\$ 8.038,33, respectivamente.

Tabela 4 – Estatísticas descritivas das variáveis

| | Ex-ante (%) | Termos de Troca (pontos) | EMBI (pontos) | Dívida Bruta/PIB (%) | Desembolsos do BNDES (R\$) |
|-------------------|----------------|-----------------------------|------------------|-------------------------|-------------------------------|
| nº de observações | 229 | 229 | 229 | 229 | 229 |
| Média | 6,49 | 99,10 | 355,91 | 70,16 | 8038,33 |
| Desvio Padrão | 4,34 | 0,83 | 302,07 | 10,96 | 5564,20 |
| Mediana | 6,01 | 99,05 | 262,00 | 66,98 | 6466,67 |
| Máximo | 23,45 | 100,94 | 1045,00 | 99,50 | 36997,90 |
| Mínimo | -0,80 | 97,48 | 136,00 | 57,07 | 1436,43 |

Fonte: Elaboração própria (2022)

4 RESULTADOS

A primeira seção apresenta as estimações realizadas para a taxa de juros neutra através do filtro HP. A segunda seção apresenta a estimação para a taxa neutra de juros através do modelo com fatores estruturais e conjunturais, estimado através da metodologia de espaço-estado, com a utilização do filtro de Kalman. Por fim, é realizada uma análise da condução da política monetária para o período estudado.

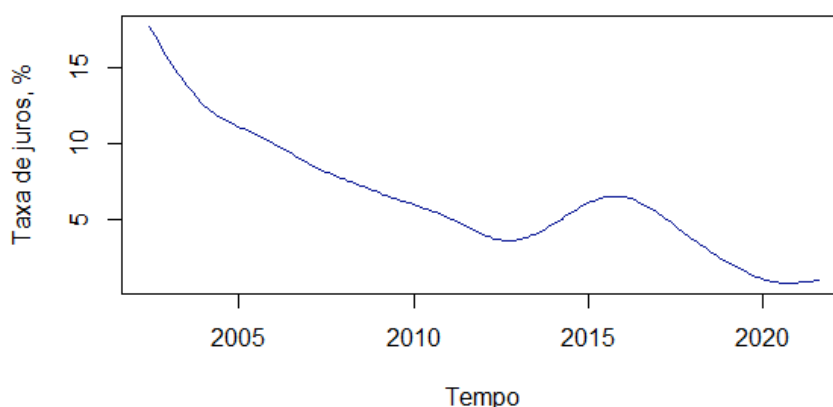
4.1 RESULTADO FILTRO HP

Conforme mencionado na parte metodológica, a primeira parte deste trabalho consiste na estimação do juro neutro através do Filtro HP. O parâmetro de frequência (λ) para dados mensais utilizado foi de 14400, de acordo com o proposto por Hodrick e Prescott (1997) e observado no trabalho de Barbosa, Camelo e João (2016).

A figura 6 mostra o resultado obtido pela utilização do filtro HP. Como pode-se perceber há uma clara tendência de queda na taxa estrutural de juros da economia brasileira do período que se estende de 2002 até 2014. Após o período, é observada uma tendência de alta, que se estende até 2016. Em seguida, a taxa volta a declinar até 2020 quando permanece com certa estabilidade. Os resultados vão em linha com o encontrado no trabalho de Candido e Ronchi Neto (2017) e condizem com as mudanças estruturais e conjunturais observadas na economia brasileira. De fato, entre 2002 e 2014 a queda na taxa estrutural pode ser explicada pela

estabilização do cenário macroeconômico, com a melhora da percepção do risco-país. Já no período de 2014 a 2016 há uma piora da inflação, do quadro fiscal e uma deterioração das expectativas dos agentes que se refletiu em uma maior percepção de risco para a economia brasileira – fatores indicados como responsáveis pelo aumento da taxa de juros neutra. No período seguinte, há uma reversão de expectativas, com a consolidação fiscal – aprovação da lei de responsabilidade fiscal – e com a aprovação de reformas estruturantes – como a reforma trabalhista. Essas medidas, em conjunto, contribuíram para uma redução da taxa estrutural.

Figura 3 - Taxa de Juros Natural - Filtro HP



Fonte: Elaboração própria. (2022)

4.2 RESULTADO DO MODELO COM FUNDAMENTOS ECONÔMICOS

A ideia do modelo com fundamentos econômicos é incluir algumas variáveis explicativas que podem afetar a taxa de juros natural. Assim, podemos estimar a taxa de juros natural e compará-la com aquela obtida no filtro HP.

Para isso, foram estimados mais três modelos diferentes e, em cada um deles, uma nova variável explicativa foi sendo adicionada. Além disso, para cada um dos três modelos foi estimado um modelo restrito, onde o parâmetro (σ_u^2) não foi otimizado, mas assumiu um valor igual ao do filtro HP, ou seja, $\sigma_u = 120$. Essa restrição foi colocada, pois os modelos irrestritos acompanharam muito de perto a série ex-ante e, como se sabe, espera-se que a taxa natural de juros apresente um comportamento mais suavizado. Assim, optou-se por realizar uma mescla de um modelo de fundamentos econômicos com o filtro HP, conforme metodologia semelhante a observada em Candido e Ronchi Neto (2017). A justificativa para a escolha das variáveis foi apresentada na revisão teórica, e descrição dos seis modelos em formato espaço-estado pode ser encontrada no apêndice desse trabalho.

Tabela 5 - Modelos Estimados

| Variáveis | | | | |
|-----------|-----------|-----------------|------------------|------------------|
| Modelo 0 | Filtro HP | | | |
| Modelo 1 | EMBI | Termos de Troca | | |
| Modelo 2 | EMBI | Termos de Troca | Razão dívida/PIB | |
| Modelo 3 | EMBI | Termos de Troca | Razão dívida/PIB | Desembolso BNDES |

Fonte: Elaboração própria (2022)

A tabela 6 mostra os resultados obtidos para todos os modelos estimados, tanto para os modelos irrestritos, quanto para os modelos com restrição ($\sigma_u = 120$). São apresentados os valores dos parâmetros estimados, bem como seus desvios padrões que estão entre parênteses.

Tabela 6 - Resultado das variáveis estimadas (Desvio padrão em parênteses)

| Variáveis | 1 ¹ | 1 (restrito) ² | 2 ³ | 2 (restrito) ⁴ | 3 ⁵ | 3 (restrito) ⁶ |
|------------------|----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|
| EMBI | 2,888*** (0,06) | -0,361*** (0,078) | 10,898*** (0,052) | -0,056 (0,060) | 13,229*** (0,074) | -2,713*** (0,029) |
| Termos de Troca | -1,340*** (0,121) | 0,292 ** (0,107) | -1,1444*** (0,098) | 0,325*** (0,081) | -0,493 (0,274) | 0,490 (0,304) |
| Dívida/PIB | | | -8,798*** (0,0504) | -0,379*** (0,055) | -8,557*** (0,073) | 1,160*** (0,053) |
| Desembolso BNDES | | | | | -1,899*** (0,291) | 0,509* (0,215) |
| sigma_u | 0,663*** (0,053) | | 0,672*** (0,052) | | 0,645*** (0,049) | |
| sigma_0 | 0,334*** (0,060) | 0,000 (0,032) | 0,355*** (0,057) | 0,000 (0,032) | 0,385*** (0,053) | 0,000 (0,032) |
| sigma_1 | 0,001*** (0,000) | 0,001*** (0,000) | 0,001*** (0,000) | 0,001*** (0,000) | 0,001*** (0,000) | 0,001 (0,000) |
| sigma_2 | 0,105*** (0,005) | 0,103*** (0,005) | 0,104*** (0,005) | 0,103*** (0,004) | 0,103*** (0,005) | 0,103*** (0,005) |
| sigma_3 | | | 0,014*** (0,000) | 0,014*** (0,000) | 0,014*** (0,001) | 0,014*** (0,001) |
| sigma_4 | | | | | 0,326*** (0,022) | 0,283*** (0,014) |
| -2 log L | -1841,841 | -72,041 | -3107,89 | -1343,061 | -2990,518 | -1200,586 |

¹ Modelo que tem como variáveis explicativas EMBI e Termos de Troca;

² Modelo que tem como variáveis explicativas EMBI e Termos de Troca e $\sigma_u = 120$;

³ Modelo que tem como variáveis explicativas EMBI, Termos de Troca e Dívida/PIB;

⁴ Modelo que tem como variáveis explicativas EMBI, Termos de Troca e Dívida/PIB e $\sigma_u = 120$;

⁵ Modelo que tem como variáveis explicativas EMBI, Termos de Troca, Dívida/PIB e Desembolso BNDES;

⁶ Modelo que tem como variáveis explicativas EMBI, Termos de Troca, Dívida/PIB e Desembolso BNDES e $\sigma_u = 120$.

* Significativo a 1%; ** Significativo a 5%; *** Significativo a 10%

Fonte: Elaboração própria (2022)

Conforme pode ser observado, o risco país se mostra significativo em todos os modelos, indicando que, de fato, ele é relevante na formação da taxa de juros neutra. O resultado encontra respaldo nos estudos apresentados na revisão teórica. Já os termos de troca não se mostram significativos nos modelos que incluem o desembolso do BNDES. Esse resultado é interessante, pois diverge do encontrado por Borges e Pessoa (2021), por exemplo, que encontram significância nesta variável. De fato, em uma economia aberta, espera-se que a taxa de juros neutra dependa de uma variável relacionada ao ciclo mundial e, por isso, a variável deveria mostrar significância. No entanto, conforme demonstrado por Uribe e Schmitt-Grohé (2018), os termos de troca podem ter um papel modesto em gerar flutuações na demanda agregada, principalmente se tratando de países emergentes, como o Brasil. Em um painel com 38 países eles demonstram que a contribuição média dos termos de troca na variação do produto é menos de 10%, o que poderia justificar a falta de significância da variável no modelo estimado. É provável que em um modelo com mais variáveis explicativas, os termos de troca percam relevância perante elas e que alguma outra variável relacionada ao ciclo mundial - como as taxas de juros norte americana - ganhe relevância. Já a dívida/PIB e a variável de desembolso do BNDES possuem significância em todos os modelos nos quais estão inseridas.

Com relação ao sinal dos coeficientes era esperado que o risco país apresentasse sinal positivo, conforme visto anteriormente. No entanto, isso não ocorreu em todos os modelos. Uma explicação possível para o fato vem de Gomes (2020), de que a queda da percepção de risco tem efeito ambíguo para o equilíbrio na taxa de juros: por um lado, a redução do risco aumenta a atratividade por poupança nacional, reduzindo a taxa de juros; por outro, um ambiente mais seguro pode estimular a demanda por investimentos, o que atua na direção de aumentar a taxa de equilíbrio. Já para os termos de troca, para a dívida/PIB e para o desembolso do BNDES o sinal esperado dos coeficientes também era positivo e isso também não aconteceu em todos os modelos.

Por fim, com relação às estimativas da taxa de juros neutra, os resultados são apresentados na tabela 7. Percebe-se que a taxa de juros neutra estimada para setembro de 2021 varia entre -2,83% e 4,04%, dependendo do modelo utilizado. O modelo 3 (Irrestrito), mais completo, é o que mais se aproxima da taxa de juros neutra com a qual o Banco Central trabalha, segundo o diretor Fábio Kanczuk, é de 3,0% (FORBES, 2021). Além disso, o trabalho de Moreira (2018) estimou uma taxa natural de juros de 1,4% em 2018, enquanto o Banco Central,

no relatório trimestral da Inflação de dezembro de 2019, indicou que a taxa poderia estar em 2,9% neste período. Faz sentido a taxa estrutural estar mais elevada no final de 2021 devido, principalmente, aos maiores impulsos fiscais em função da resposta do governo à pandemia.

Tabela 7 - Estimativas da Taxa de Juros Neutra (a.a)

| | Filtro HP | Modelo 1 - EMBI + Termos de Troca (Restrito, $\sigma_u = 120$) | Modelo 1 - EMBI + Termos de Troca (Irrestrito) | Modelo 2 - EMBI + Termos de Troca + Dívida/PIB (Restrito, $\sigma_u = 120$) | Modelo 2 - EMBI + Termos de Troca + Dívida/PIB (Irrestrito) | Modelo 3 - EMBI + Termos de Troca + Dívida/PIB + Desembolso BNDES (Restrito, $\sigma_u = 120$) | Modelo 3 - EMBI + Termos de Troca + Dívida/PIB + Desembolso BNDES (Irrestrito) |
|---------------|-----------|---|--|--|---|---|--|
| Média | 6,42% | 7,62% | 6,44% | 7,75% | 6,44% | 7,44% | 6,44% |
| Mediana | 5,84% | 5,95% | 6,15% | 6,60% | 6,13% | 5,98% | 6,27% |
| Desvio Padrão | 3,89% | 5,81% | 4,22% | 5,90% | 4,23% | 5,82% | 4,23% |
| Último Valor | 0,95% | 1,02% | 3,49% | -2,83% | 2,95% | -2,07% | 3,01% |

Fonte: Elaboração própria (2022)

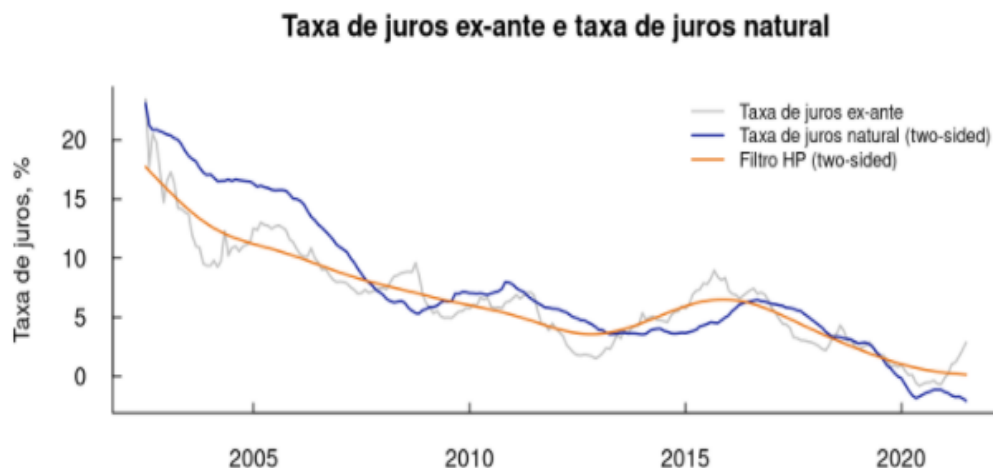
4.3 ANÁLISE DE CONDUÇÃO DA POLÍTICA MONETÁRIA

Para analisar a condução da política monetária ao longo do período, será utilizado o modelo 3 - irrestrito. A escolha da utilização desse modelo ocorreu por ele ter sido o único modelo que apresentou os coeficientes estimados de acordo com a literatura apresentada e por ele apresentar uma taxa de juros neutra estimada próxima da divulgada recentemente pelo Banco Central. Como essa é uma variável não observável, esses foram os parâmetros utilizados para a escolha do modelo a ser utilizado na análise de condução da política monetária.

O gráfico da taxa de juros neutra estimada ao longo do tempo e do hiato da taxa de juros - diferença entre o juro real e o juro natural - para os outros modelos pode ser encontrado no apêndice deste trabalho.

A figura 7 mostra o gráfico da taxa de juros neutra estimada para o modelo 3 – irrestrito e para o filtro HP. Os resultados são apresentados com o filtro de Kalman suavizado (*two-sided*). Percebe-se que, de fato, a taxa de juros neutra vem caindo durante o período estudado, apesar de ter registrado certa alta ao longo dos últimos meses. Conforme apresentado nos resultados para o modelo HP, o encontrado vai em linha com o trabalho de Candido e Ronchi Neto (2017) e condiz com as mudanças estruturais e conjunturais observadas na economia brasileira.

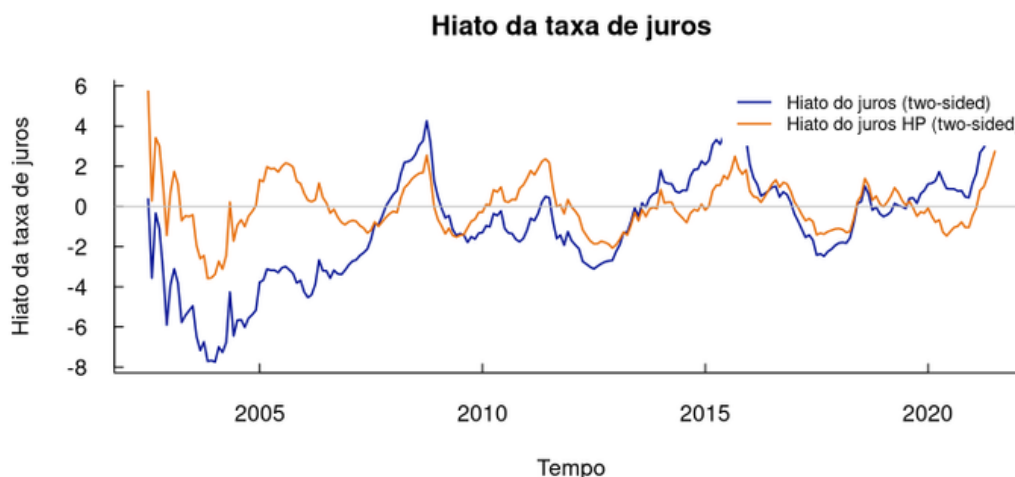
Figura 7 - Resultado Modelo 3 (irrestrito)



Fonte: Elaboração própria (2022)

Para realizar a análise de condução da política monetária foi calculado o hiato da taxa de juros, ou seja, a diferença entre o juro real e juro natural estimado, conforme demonstrado na metodologia.

Figura 8 - Hiato da Taxa de Juros



Fonte: Elaboração própria (2022)

Analisando a figura 8 é possível classificar a condução da política monetária brasileira em alguns períodos distintos – classificados segundo o sinal (positivo e negativo) do hiato de juros. O primeiro vai de 2002 até 2005, onde o Banco Central apresentava uma política monetária bastante expansionista (hiato de juros negativo). Já em 2006, a política monetária se tornou contracionista, com o hiato de juros se tornando positivo. Na sequência, com a crise financeira global (2008) observa-se uma política majoritariamente expansionista que

permaneceu até 2014. Deste ano até o ano de 2016, foi observada uma política contracionista - mesmo com um ambiente econômico recessivo. Por fim, de 2016 até o momento foram observados períodos de políticas expansionistas/neutras com hiato de juros se tornando positivo ao longo de 2021.

É interessante notar que alguns resultados diferem do encontrado por Moreira e Portugal (2019), por exemplo. Em seu estudo, o período de 1999 até 2007 é caracterizado por uma política contracionista. Já o período de 2007 até 2014 foi de uma política neutra para expansionista, e o período que começa a partir de 2014 foi caracterizado por impulsos contracionistas.

Barbosa, Camêlo e João (2016), por sua vez, também encontram uma postura contracionista do Banco Central entre 2003 e 2007 que se reverte em expansionista entre 2008 e 2010. Depois, há períodos de política expansionista de 2012 até meados de 2013, com a reversão para contração em 2014.

As diferenças na análise da condução de política monetária podem estar associadas aos diversos processos de estimação da taxa natural de juros que é essencial para o cálculo do hiato de juros e para tal análise. Conforme mencionado, há uma grande incerteza sobre o verdadeiro valor da taxa estrutural e as estimativas variam muito conforme o modelo e período utilizado. Assim, diferentes estimativas podem resultar em diferentes resultados para a condução da política monetária. De fato, o modelo aqui utilizado para estimar a taxa natural difere dos modelos apresentados por Moreira e Portugal (2019) e por Barbosa, Camêlo e João (2016) o que pode explicar as diferenças nos resultados encontrados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância da taxa de juros neutra da economia para a política monetária está ligada aos objetivos da autoridade monetária. Nos mandatos atuais dos Bancos Centrais que buscam atingir a estabilidade de preços, a taxa natural é um dos indicadores de referência para a tomada de decisão, Amato (2005). No entanto, essa taxa não é observável e não existe consenso de qual é a melhor forma de estimá-la. Assim, há uma grande incerteza sobre o seu verdadeiro valor e as estimativas variam muito conforme o modelo utilizado.

Neste trabalho, se optou por estimar a taxa de juros neutra através de um modelo com fundamentos econômicos - com variáveis que, segundo a literatura são determinantes em sua composição. Assim, foram estimados mais três modelos diferentes e, em cada um deles, novas variáveis explicativas foram sendo adicionada. Além disso, para cada um dos três modelos foi estimado um modelo restrito, onde o parâmetro σ_u não foi otimizado, mas assumiu um valor igual ao do filtro HP, ou seja, $\sigma_u = 120$

As estimativas mostraram que, em setembro de 2021, a taxa natural de juros, estava entre -2,83% e 4,04%, dependendo do modelo utilizado. O modelo 3 (Irrestrito) é o que mais se aproxima da taxa de juros neutra estimada e divulgada pelo Banco Central para o período, que estaria ao redor de 3,50%. Além disso, o trabalho de Moreira (2018) estimou uma taxa natural de juros de 1,4% em 2018, enquanto o Relatório Trimestral da Inflação (2019) indicou que a taxa poderia estar em 2,9% em dezembro de 2019. Faz sentido a taxa estrutural estar mais elevada no final de 2021 devido, principalmente, aos maiores impulsos fiscais em função da resposta do governo à pandemia.

Todos os modelos mostraram uma queda na taxa de juros neutra ao longo do período estudado e, para o último período estudado - setembro de 2021 - a taxa média estrutural dos modelos foi estimada em 1,32%. O resultado mostra uma taxa estrutural abaixo da média dos emergentes em 2019, de 2,2% (RUCH, 2021).

O trabalho mostrou divergência na condução da política monetária, principalmente no período que vai de 2002 a 2007. Enquanto os estudos mostram uma política monetária contracionista, o presente trabalho mostra um Banco Central (BC) expansionista. Por fim, no que diz respeito ao período mais recente, percebe-se que o BC adotou uma política monetária mais expansionista ao longo de 2020, mas que em 2021 foi iniciado o processo de reversão. Como recomendação de estudos futuros é indicada a inserção de novas variáveis explicativas no modelo, de modo a torná-lo ainda mais robusto.

REFERÊNCIAS

- AMATO, Jeffery D. The role of the natural rate of interest in monetary policy. **BIS Working Papers**: Bank for International Settlements, n. 171, 2005. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/bis/biswps/171.html>. Acesso em: 27 ago. 2021.
- ARCHIBALD, Joanne; HUNTER, Leni. What is the neutral real interest rate, and how can we use it? **Reserve Bank of New Zealand**: Bulletin, v. 64, n. 3, 2001. Disponível em: <https://www.rbnz.govt.nz/research-and-publications/reserve-bank-bulletin/2001/rbb2001-64-03-02>. Acesso em: 13 set. 2021.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). **Carta Aberta explicando a inflação acima do limite superior do intervalo de tolerância da meta em 2021**. Brasília, 2022.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL(BCB). Evolução da Taxa de Juros Real de Equilíbrio no Brasil. **Relatório de Inflação**, v. 14, n. 3, p. 89-96, set. 2012.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL(BCB). Proxy da taxa de juros estrutural implícita nas expectativas da pesquisa Focus. **Relatório de Inflação**, v. 23, n. 4, p. 59-60, dez. 2019.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL (BCB). Taxa de juros real durante desinflações. **Relatório de Inflação**, v. 19, n. 1, p. 52-55, mar. 2017.
- BARBOSA, Fernando de Holanda; CAMÊLO, Felipe Diogo; JOÃO, Igor Custodio. A taxa de juros natural e a regra de Taylor no Brasil: 2003/2015. **Revista Brasileira de Economia - RBE, EPGE Brazilian School of Economics and Finance - FGV EPGE**, Brazil, v. 70, n. 4, dez. 2016.
- BARCELLOS NETO, Paulo Chananeco F. de; PORTUGAL, Marcelo Savino. The natural rate of interest in Brazil between 1999 and 2005. **Revista Brasileira de Economia**, v. 63, n. 2, jun. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbe/a/ZJh3qcVNZNtCnks9Q9YCNGG/?lang=en>. Acesso em: 22 mar. 2021.
- BASDEVANT, Olivier; BJÖRKSTEN, Nils; KARAGEDIKLI, Ozer. Estimating a time varying neutral real interest rate for New Zealand. **Reserve Bank of New Zealand**: Discussion Paper Series, 2004. Disponível em: https://econpapers.repec.org/paper/nzbnzbdps/2004_2f01.htm. Acesso em: 12 mai. 2021.
- BLINDER, Alan S. Central Banking in Theory and Practice. **MIT Press**, v. 3, f. 54, 1999.
- BNDES - BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. **Evolução dos desembolsos**. Rio de Janeiro, 2021.
- BORGES, Bráulio; PESSOA, Samuel. Os determinantes do juro de equilíbrio brasileiro em 2001-2019. *In*: FGV. 2021. Disponível em:

https://blogdoibre.fgv.br/sites/blogdoibre.fgv.br/files/u52/wp_fgv_ibre_juro_equilibrio_borge_speessoa_abr21_1.pdf. Acesso em: 12 out. 2021.

BRAND, Claus; BIELECKI, Marcin; PENALVER, Adrian. The natural rate of interest: estimates, drivers, and challenges to monetary policy. **Occasional Paper Series**, n. 217, European Central Bank, 2018. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/ecb/ecbops/2018217.html>. Acesso em: 4 jan. 2022.

CANDIDO, Osvaldo; RONCHI NETO, Alberto. Measuring the neutral real interest rate in Brazil: A joint estimation with potential output, NAIRU and NAICU. **Revista Economia**, ANPEC, Niterói/RJ, jul. 2017. Disponível em: https://www.anpec.org.br/encontro/2017/submissao/files_I/i4-978cc745822e69574d1bcb0d7a095896.pdf. Acesso em: 7 abr. 2021.

CHEN, Xin Scott; DORICH, José. The neutral rate in Canada: 2018 estimates. **Bank of Canada**, Ottawa, 2018. Disponível em: https://publications.gc.ca/collections/collection_2018/banque-bank-canada/FB3-7-2018-22-eng.pdf. Acesso em: 11 ago. 2021.

CLARIDA, Richard; GALÍ, Jordi; GERTLER, Mark. Monetary Policy Rules and Macroeconomic Stability: Evidence and Some Theory. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 115, p. 147-180, 2000. Disponível em: https://econpapers.repec.org/article/oupqjecon/v_3a115_3ay_3a2000_3ai_3a1_3ap_3a147-180..htm. Acesso em: 19 set. 2021.

DANÍELSSON, Ásgeir; HELGASON, Ólafur Sindri; THÓRARINSSON, Stefán. Estimating the Natural Interest Rate for Iceland: An Exploratory Study. **The Central Bank of Iceland - Working Paper**, n. 74, 2016. Disponível em: <https://www.cb.is/publications/publications/publication/2016/12/06/Working-Papers-no.-74/>. Acesso em: 23 set. 2021.

DURBIN, James; KOOPMAN, Siem Jan. Time Series Analysis by State Space Methods. **OUP Oxford**, v. 3, 2012.

FERREIRA, Flávio Henn; MORI, Rogério. Estimativas para a taxa de juros neutra no Brasil. **Revista Economia**, ANPEC, ANPEC. São Paulo, 2014. Disponível em: https://www.anpec.org.br/encontro/2013/files_I/i4-7db25a1f2b5222345ac212a5cd66ddb3.pdf. Acesso em: 5 mai. 2021.

FISHER, Irving. **The Theory of interest**. Philadelphia: Porcupine Press, 1977. ISBN 0-87991-864-0.

FORBES. Banco Central trabalha com taxa real neutra de 3% e taxa nominal de 6,5%, diz Kanczuk. Publicado em 8 abr. 2021. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbes-money/2021/04/banco-central-trabalha-com-taxa-real-neutra-de-3-e-taxa-nominal-de-65-diz-kanczuk/>. Acesso em: 16 ago. 2021.

FMI – FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL. **Commodity Terms of Trade**. Estados Unidos, 2021.

FRIEDMAN, Milton. The Role of Monetary Policy. **The American Economic Review**, v. 58, n. 1, mar, 1968.

GALÍ, Jordi. **Monetary Policy, Inflation, and the Business Cycle: An Introduction to the New Keynesian Framework and Its Applications**. 2. ed. Nova Jersey: Princeton University Press, 2015.

GALÍ, Jordi. New Perspectives on Monetary Policy, Inflation, and the Business Cycle. **National bureau of economic research**, Cambridge, 2002. Disponível em: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w8767/w8767.pdf. Acesso em: 15 jun. 2021.

GOLDFAJN, Ilan; BICALHO, Aurélio . A Longa Travessia para a Normalidade: os Juros Reais no Brasil. **texto para a discussão 2/2011, departamento de pesquisa macroeconômico do Banco Itaú/Unibanco.**, 2011.

GOMES, Everton. Juros Estruturais: Por que caíram? Onde estão? *In*: Santander. 2020. Disponível em: https://cms.santander.com.br/sites/WPS/documentos/arq-estudos-macro-download-11-02-2020/20-02-11_214326_200131jurosestruturaisporquecairamondeestao.pdf. Acesso em: 14 out. 2021.

GOTTLIEB, Julia Wrobel Folescu. **Estimativas e Determinantes da Taxa de Juros Real Neutra no Brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado em Economia) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

GOTTSCHALK, Jan. Measuring Expected Inflation and the Ex-Ante Real Interest Rate in the Euro Area Using Structural Vector Autoregressions. **Kiel Working Paper**, Germany, n. 1067, jul. 2001. Disponível em: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/17891/1/kap1067.pdf>. Acesso em: 14 out. 2021.

GUAY, Alain; SAINT-AMANT, Pierre. Do the Hodrick-Prescott and Baxter-King Filters Provide a Good Approximation of Business Cycles? **Annals of Economics and Statistics**, n. 77, p. 133-155, 1997. Disponível em: https://econpapers.repec.org/article/adranecst/y_3a2005_3ai_3a77_3ap_3a133-155.htm#:~:text=The%20conclusions%20are%20the%20same,provide%20a%20distorted%20business%20cycle. Acesso em: 6 dez. 2021.

HARVEY, A. C; JAEGER, A. Detrending, Stylized Facts and the Business Cycle. **Journal of Applied Econometrics**, v. 8, n. 3, p. 231-247, set. 1993.

HODRICK, Robert J.; PRESCOTT, Edward C. Postwar U.S. Business Cycles: An Empirical Investigation. **Journal of Money, Credit and Banking**, v. 29, n. 1, p. 1-16, fev. 1997.

HOLSTON, Kathryn; LAUBACH, Thomas; WILLIAMS, John C. Measuring the Natural Rate of Interest: International Trends and Determinants. **Journal of International Economics**, p. 39-75, 2017. Disponível em: <https://www.frbsf.org/economic-research/files/wp2016-11.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

ITAÚ ASSET MANAGEMENT. **Taxa Neutra de Juros no Brasil**. 2017. Disponível em: <https://www.itauassetmanagement.com.br/content/dam/itau-asset-management/content/pdf/white-papers/Taxa%20Neutra%20de%20Juros%20no%20Brasil%20-%20White%20Paper.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2021.

KYDLAND, Finn E.; PRESCOTT, Edward C. Time to Build and Aggregate Fluctuations. **Econometrica**, v. 50, n. 6, p. 1345-1370, nov. 1982

LAUBACH, Thomas; WILLIAMS, John C. Measuring the Natural Rate of Interest. **Review of Economics and Statistics**, v. 85, n. 4, nov. 2003. Disponível em: <https://www.federalreserve.gov/pubs/feds/2001/200156/200156pap.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2021.

MAGUD, Nicolas E.; TSOUNTA, Evridiki. To Cut or Not to Cut? That is the (Central Bank's) Question. **IMF Working Paper**, n. 243, 2012. Disponível em: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2012/wp12243.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2022.

MANKIW, N. Gregory. **Macroeconomics**. Worth Publishers: Fifth Edition, 2002.

MARTIN, Vance; HURN, Stan; HARRIS, David. **Econometric Modelling with Time Series: Specification, Estimation and Testing**. UK: Cambridge University Press, 2012.

MCCRIRICK, Rachael; REES, Daniel. The Neutral Interest Rate. **Reserve Bank of Australia**, 2017. Disponível em: <https://www.rba.gov.au/publications/bulletin/2017/sep/bu-0917-2a.html>. Acesso em: 7 dez. 2021.

MIRANDA, Pedro; MUINHOS, Marcelo. A Taxa de Juros de Equilíbrio: uma Abordagem Múltipla. **Central Bank of Brazil**, n. 66, Research Department, Brasília, 2003. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/bcb/wpaper/66.html>. Acesso em: 10 mai. 2021.

MOREIRA, João Ricardo Rodrigues. **Estimativas para a taxa natural de juros no Brasil após a adoção do regime de metas de inflação**. 2018. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

MOREIRA, João Ricardo Rodrigues; PORTUGAL, Marcelo Savino. Natural rate of interest estimates for Brazil after adoption of the inflation targeting regime. In: Banco Central del Uruguay, 2019. Disponível em: https://www.bcu.gub.uy/Comunicaciones/Jornadas%20de%20Economa/PORTUGAL_MARCELO_2019_6109.pdf. Acesso em: 14 abr. 2021.

MUINHOS, Marcelo Kfoury; NAKANE, Márcio I. Comparing equilibrium real interest rates: different approaches to measure Brazilian rates. **Central Bank of Brazil**, Research Department, n. 101, 2006. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/bcb/wpaper/101.html>. Acesso em: 1 fev. 2022.

PERRELLI, Roberto; ROACHE, Shaun K. Time-Varying Neutral Interest Rate—The Case of Brazil. **IMF Working Paper**, v. 14, n. 84, 2014. Disponível em:

<https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2016/12/31/Time-Varying-Neutral-Interest-Rate-The-Case-of-Brazil-41552>. Acesso em: 4 out. 2021.

PHELPS, Edmund S. Money-Wage Dynamics and Labor-Market Equilibrium. **Journal of Political Economy**, v. 76, n. 4, p. 678-711, ago. 1968.

RIBEIRO, Alessandra; TELES, Vladimir K. A taxa natural de Juros no Brasil. **Revista FGV**. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.anpec.org.br/revista/aprovados/Natural.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2021.

ROMER, David. **Advanced Macroeconomics**. McGraw-Hill Companies; 5. ed., 2018.

ROTEMBERG, Julio J.; WOODFORD, Michael. Imperfect Competition and The Effects of Energy Price Increases on Economic Activity. **National Bureau of Economic Research**, Cambridge, jun. 1996.

RUCH, Franz Ulrich. Neutral Real Interest Rates in Inflation Targeting Emerging and Developing Economies. **World Bank Group - Policy Research**, n. 9711. 2021. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35831>. Acesso em: 17 jan. 2022.

US, Vuslat. Measuring the Natural Interest Rate for the Turkish Economy. **International Journal of Central Banking**, Republic of Turkey, 2018. Disponível em: <https://www.ijcb.org/journal/ijcb18q0a7.htm>. Acesso em: 27 mai. 2021.

URIBE, Martín; SCHMITT-GROHÉ, Stephanie . How important are terms-of-trade shocks?. **International Economic Review**. 2018, p. 85 -111. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/iere.12263>. Acesso em: 15 dez. 2021.

WANG, Bin; KWAN, Yum K. Measuring the natural rates of interest of OECD and BRICS economies: A time varying perspective, **Journal of International Money and Finance**, Volume 112, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261560620302825>

WICKSELL, Knut. **Interest and Prices: A Study of the Causes Regulating the Value of Money**. London: Macmillan, 1936.

ZHANG, Ren; MARTÍNEZ-GARCÍA, Enrique; WYNNE, Mark.A. Estimating the natural rate of interest for small open economies, **Journal of International Money and Finance**, Volume 113,2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261560620302710>

APÊNDICE A — Modelo 1 (Fundamentos econômicos – EBMI e Termos de troca)

Equações de medida: $r_t = r_t^* + u_t$

onde,

r_t = taxa de juros ex-ante

r_t^* = taxa de juros natural

$u_t \sim N(0, \sigma_u^2)$

Também consideramos no modelo duas variáveis explicativas, EMBI $x_{1,t}^{obs}$ e Termos de troca $x_{2,t}^{obs}$. Essas variáveis entrarão na equação da taxa de juros natural e, portanto, também serão variáveis de estado. Assim, temos mais duas equações que conectam essas variáveis observáveis com as variáveis de estados:

$$x_{1,t}^{obs} = x_{1,t}$$

$$x_{2,t}^{obs} = x_{2,t}$$

Equações de estado:

Como a taxa de juros natural é não observável, precisamos de uma equação de estado. Seguindo o modelo de tendência proposto por Harvey e Jager (1993), a transição da taxa de juros natural é dada pela taxa de juros natural do período anterior, somado de uma tendência. Além disso, no nosso modelo ela depende de dois fundamentos econômicos: EMBI e Termos de Troca:

$$r_t^* = r_{t-1}^* + \tau_{t-1} + \beta_1 x_{1,t-1} + \beta_2 x_{2,t-1}$$

A tendência segue um passeio aleatório: $\tau_t = \tau_{t-1} + \varepsilon_{0,t}$, $\varepsilon_{0,t} \sim N(0, \sigma_0^2)$.

Assumiu-se, também que $x_{1,t}$ e $x_{2,t}$ também seguem um passeio aleatório:

$$x_{1,t} = x_{1,t-1} + \varepsilon_{1,t} \sim N(0, \sigma_1^2)$$

$$x_{2,t} = x_{2,t-1} + \varepsilon_{2,t} \sim N(0, \sigma_2^2)$$

Representação em espaço de estados:

$$y_t = \begin{bmatrix} r_t \\ x_{1,t}^{obs} \\ x_{2,t}^{obs} \end{bmatrix}$$

$$s_t = \begin{bmatrix} r_t^* \\ \tau_t \\ x_{1,t} \\ x_{2,t} \end{bmatrix}$$

$$x_t = [0]$$

Equação de medida : $y_t = A'x_t + H's_t + v_t$

$$\begin{bmatrix} r_t \\ x_{1,t}^{obs} \\ x_{2,t}^{obs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1000 \\ 0010 \\ 0001 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_t^* \\ \tau_t \\ x_{1,t} \\ x_{2,t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_t \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, v_t \sim N \left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \sigma_u^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \right)$$

Equações de transição: $s_t = c + Fs_{t-1} + \varepsilon_t$

$$\begin{bmatrix} r_t^* \\ \tau_t \\ x_{1,t} \\ x_{2,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 11\beta_1\beta_2 & & & \\ 01 & 0 & 0 & \\ 00 & 1 & 0 & \\ 00 & 0 & 1 & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{t-1}^* \\ \tau_{t-1} \\ x_{1,t-1} \\ x_{2,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + I_4 \begin{bmatrix} 0 \\ \varepsilon_{0,t} \\ \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \end{bmatrix}, \varepsilon_t \sim N \left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_0^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_1^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_2^2 \end{bmatrix} \right)$$

*Para a estimação do modelo restrito, a mesma representação foi utilizada, com a diferença que σ_u^2 foi fixado em 120 (parâmetro do filtro HP).

* Variáveis explicativas foram utilizadas em escala logarítmica.

APÊNDICE B — Modelo 2 (Fundamentos econômicos – EMBI, Termos de Troca e razão dívida/PIB)

Equações de medida: $r_t = r_t^* + u_t$

onde,

r_t = taxa de juros ex-ante

r_t^* = taxa de juros natural

$u_t \sim N(0, \sigma_u^2)$

Também consideramos no modelo três variáveis explicativas, EMBI $x_{1,t}^{obs}$, Termos de troca $x_{2,t}^{obs}$ e razão dívida/PIB $x_{3,t}^{obs}$. Essas variáveis entrarão na equação da taxa de juros natural e, portanto, também serão variáveis de estado. Assim, temos mais duas equações que conectam essas variáveis observáveis com as variáveis de estados:

$$x_{1,t}^{obs} = x_{1,t}$$

$$x_{2,t}^{obs} = x_{2,t}$$

$$x_{3,t}^{obs} = x_{3,t}$$

Equações de estado:

Como a taxa de juros natural é não observável, precisamos de uma equação de estado. Seguindo o modelo de tendência proposto por Harvey e Jager (1993), a transição da taxa de juros natural é dada pela taxa de juros natural do período anterior, somado de uma tendência. Além disso, no nosso modelo ela depende de dois fundamentos econômicos: EMBI, Termos de Troca e razão dívida/PIB:

$$r_t^* = r_{t-1}^* + \tau_{t-1} + \beta_1 x_{1,t-1} + \beta_2 x_{2,t-1} + \beta_3 x_{3,t-1}$$

A tendência segue um passeio aleatório: $\tau_t = \tau_{t-1} + \varepsilon_{0,t}$, $\varepsilon_{0,t} \sim N(0, \sigma_0^2)$.

Assumiu-se, também que $x_{1,t}$, $x_{2,t}$ e $x_{3,t}$ também seguem um passeio aleatório:

$$x_{1,t} = x_{1,t-1} + \varepsilon_{1,t} \sim N(0, \sigma_1^2)$$

$$x_{2,t} = x_{2,t-1} + \varepsilon_{2,t} \sim N(0, \sigma_2^2)$$

$$x_{3,t} = x_{3,t-1} + \varepsilon_{3,t} \sim N(0, \sigma_3^2)$$

Representação em espaço de estados:

$$y_t = \begin{bmatrix} r_t \\ x_{1,t}^{obs} \\ x_{2,t}^{obs} \\ x_{3,t}^{obs} \end{bmatrix}$$

$$s_t = \begin{bmatrix} r_t^* \\ \tau_t \\ x_{1,t} \\ x_{2,t} \\ x_{3,t} \end{bmatrix}$$

$$x_t = [0]$$

Equação de medida: $y_t = A'x_t + H's_t + v_t$

$$\begin{bmatrix} r_t \\ x_{1,t}^{obs} \\ x_{2,t}^{obs} \\ x_{3,t}^{obs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 10000 \\ 00100 \\ 00010 \\ 00001 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_t^* \\ \tau_t \\ x_{1,t} \\ x_{2,t} \\ x_{3,t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_t \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, v_t \sim N \left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \sigma_u^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \right)$$

Equações de transição: $s_t = c + F s_{t-1} + \varepsilon_t$

$$\begin{bmatrix} r_t^* \\ \tau_t \\ x_{1,t} \\ x_{2,t} \\ x_{3,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{t-1}^* \\ \tau_{t-1} \\ x_{1,t-1} \\ x_{2,t-1} \\ x_{3,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + I_5 \begin{bmatrix} 0 \\ \varepsilon_{0,t} \\ \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \\ \varepsilon_{3,t} \end{bmatrix}, \varepsilon_t \sim N \left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_0^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_3^2 \end{bmatrix} \right)$$

*Para a estimação do modelo restrito, a mesma representação foi utilizada, com a diferença que σ_u^2 foi fixado em 120 (parâmetro do filtro HP).

* Variáveis explicativas foram utilizadas em escala logarítmica.

APÊNDICE C — Modelo 3 (Fundamentos econômicos – EMBI, Termos de Troca, razão dívida/PIB e Desembolso do BNDES)

Equações de medida: $r_t = r_t^* + u_t$

onde,

r_t = taxa de juros ex-ante

r_t^* = taxa de juros natural

$u_t \sim N(0, \sigma_u^2)$

Também consideramos no modelo quatro variáveis explicativas, EMBI $x_{1,t}^{obs}$, Termos de troca $x_{2,t}^{obs}$, razão dívida/PIB $x_{3,t}^{obs}$ e desembolso do BNDES $x_{4,t}^{obs}$. Essas variáveis entrarão na equação da taxa de juros natural e, portanto, também serão variáveis de estado. Assim, temos mais duas equações que conectam essas variáveis observáveis com as variáveis de estados:

$$x_{1,t}^{obs} = x_{1,t}$$

$$x_{2,t}^{obs} = x_{2,t}$$

$$x_{3,t}^{obs} = x_{3,t}$$

$$x_{4,t}^{obs} = x_{4,t}$$

Equações de estado:

Como a taxa de juros natural é não observável, precisamos de uma equação de estado. Seguindo o modelo de tendência proposto por Harvey e Jager (1993), a transição da taxa de juros natural é dada pela taxa de juros natural do período anterior, somado de uma tendência. Além disso, no nosso modelo ela depende de dois fundamentos econômicos: EMBI, Termos de Troca, razão dívida/PIB e desembolso do BNDES:

$$r_t^* = r_{t-1}^* + \tau_{t-1} + \beta_1 x_{1,t-1} + \beta_2 x_{2,t-1} + \beta_3 x_{3,t-1} + \beta_4 x_{4,t-1}$$

A tendência segue um passeio aleatório: $\tau_t = \tau_{t-1} + \varepsilon_{0,t}$, $\varepsilon_{0,t} \sim N(0, \sigma_0^2)$.

Assumiu-se, também que $x_{1,t}$, $x_{2,t}$, $x_{3,t}$ e $x_{4,t}$ também seguem um passeio aleatório:

$$x_{1,t} = x_{1,t-1} + \varepsilon_{1,t} \sim N(0, \sigma_1^2)$$

$$x_{2,t} = x_{2,t-1} + \varepsilon_{2,t} \sim N(0, \sigma_2^2)$$

$$x_{3,t} = x_{3,t-1} + \varepsilon_{3,t} \sim N(0, \sigma_3^2)$$

$$x_{4,t} = x_{3,t-1} + \varepsilon_{4,t} \sim N(0, \sigma_4^2)$$

Representação em espaço de estados:

$$y_t = \begin{bmatrix} r_t \\ x_{1,t}^{obs} \\ x_{2,t}^{obs} \\ x_{3,t}^{obs} \\ x_{4,t}^{obs} \end{bmatrix}$$

$$s_t = \begin{bmatrix} r_t^* \\ \tau_t \\ x_{1,t} \\ x_{2,t} \\ x_{3,t} \\ x_{4,t} \end{bmatrix}$$

$$x_t = [0]$$

Equação de medida : $y_t = A'x_t + H's_t + v_t$

$$\begin{bmatrix} r_t \\ x_{1,t}^{obs} \\ x_{2,t}^{obs} \\ x_{3,t}^{obs} \\ x_{4,t}^{obs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 100000 \\ 001000 \\ 000100 \\ 000010 \\ 000001 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_t^* \\ \tau_t \\ x_{1,t} \\ x_{2,t} \\ x_{3,t} \\ x_{4,t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_t \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, v_t \sim N \left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \sigma_u^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \right)$$

Equações de transição: $s_t = c + Fs_{t-1} + \varepsilon_t$

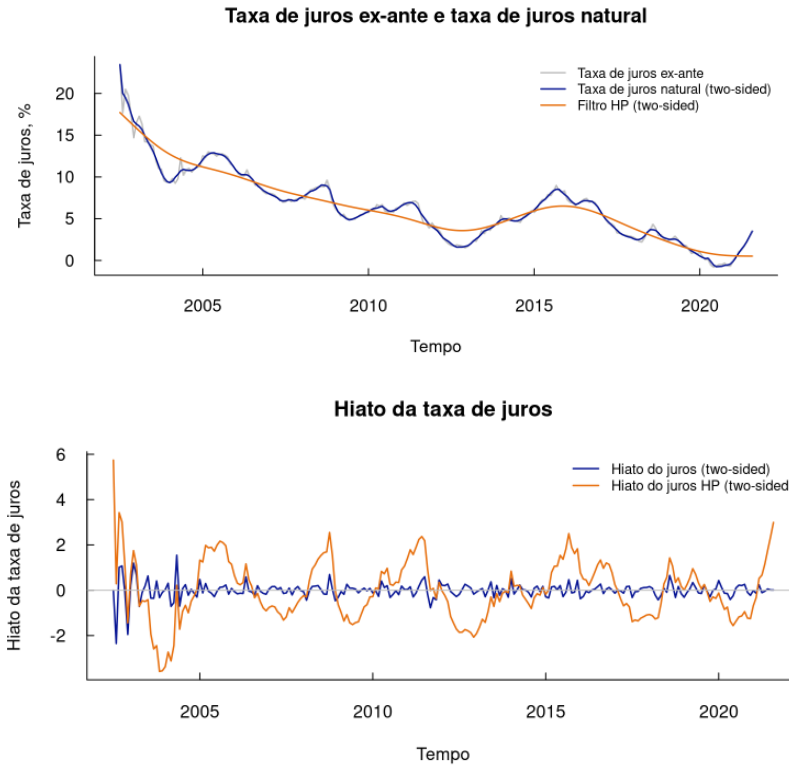
$$\begin{bmatrix} r_t^* \\ \tau_t \\ x_{1,t} \\ x_{2,t} \\ x_{3,t} \\ x_{4,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & \beta_4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{t-1}^* \\ \tau_{t-1} \\ x_{1,t-1} \\ x_{2,t-1} \\ x_{3,t-1} \\ x_{4,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + I_6 \begin{bmatrix} 0 \\ \varepsilon_{0,t} \\ \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \\ \varepsilon_{3,t} \\ \varepsilon_{4,t} \end{bmatrix}, \varepsilon_t \sim N \left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_0^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_1^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_2^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_3^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_4^2 \end{bmatrix} \right)$$

*Para a estimação do modelo restrito, a mesma representação foi utilizada, com a diferença que σ_u^2 foi fixado em 120 (parâmetro do filtro HP).

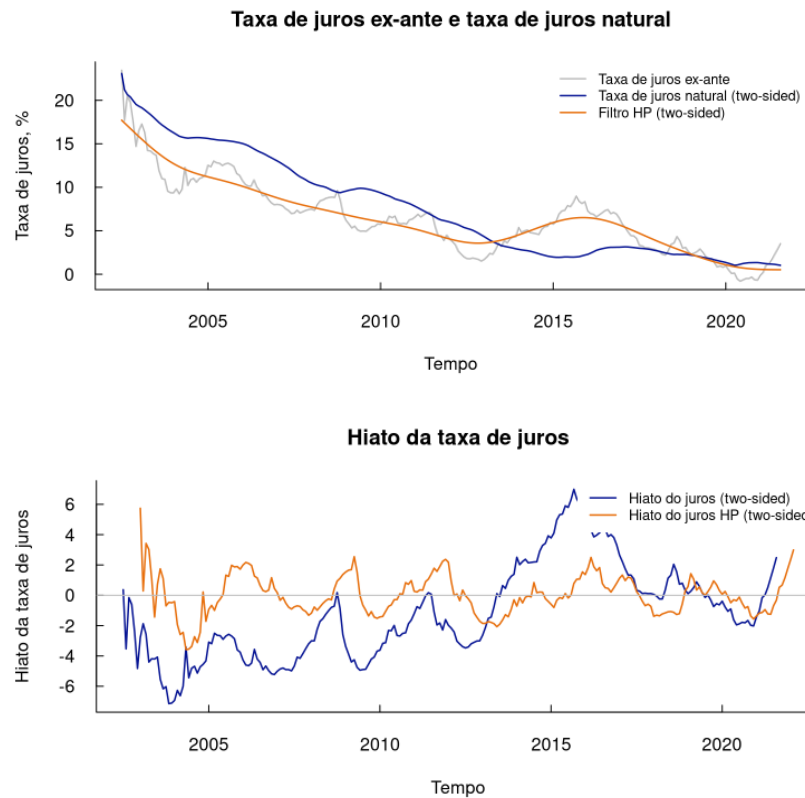
* Variáveis explicativas foram utilizadas em escala logarítmica.

APÊNDICE D — Gráficos com resultados dos modelos com fundamentos econômicos

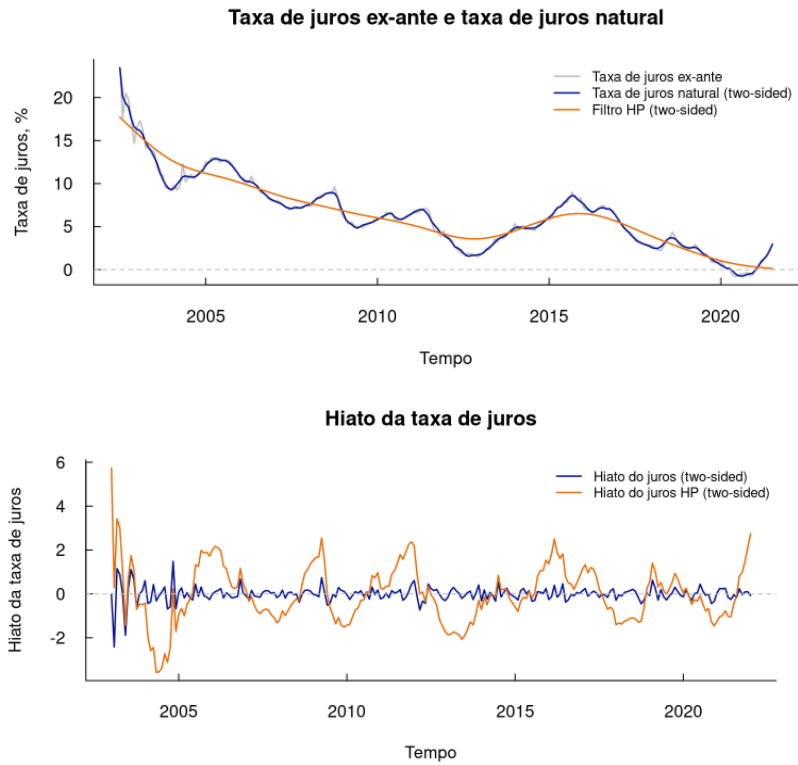
Modelo 1:



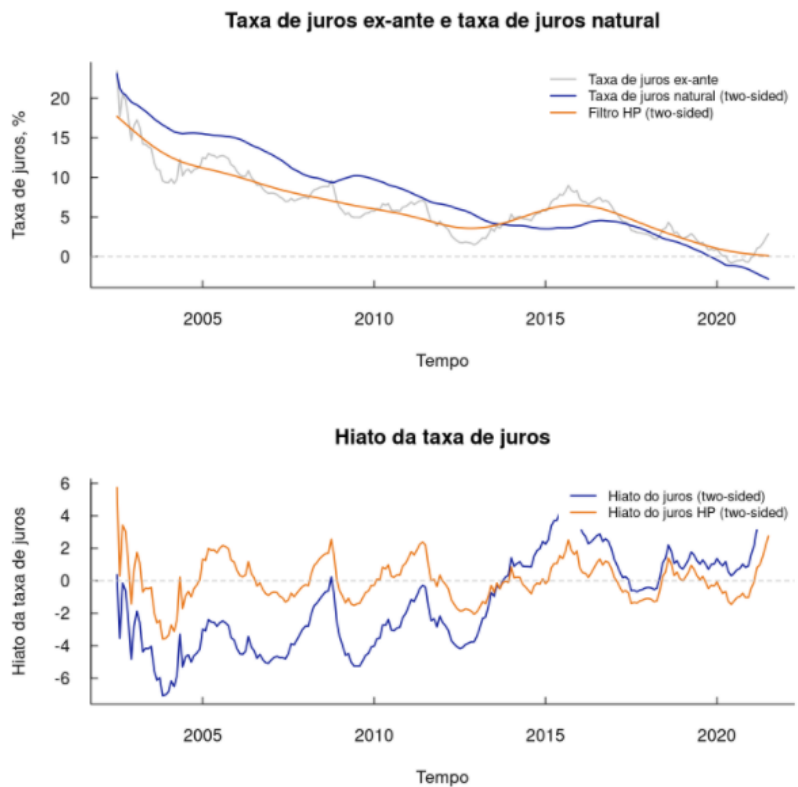
Modelo 1 – Restrito:



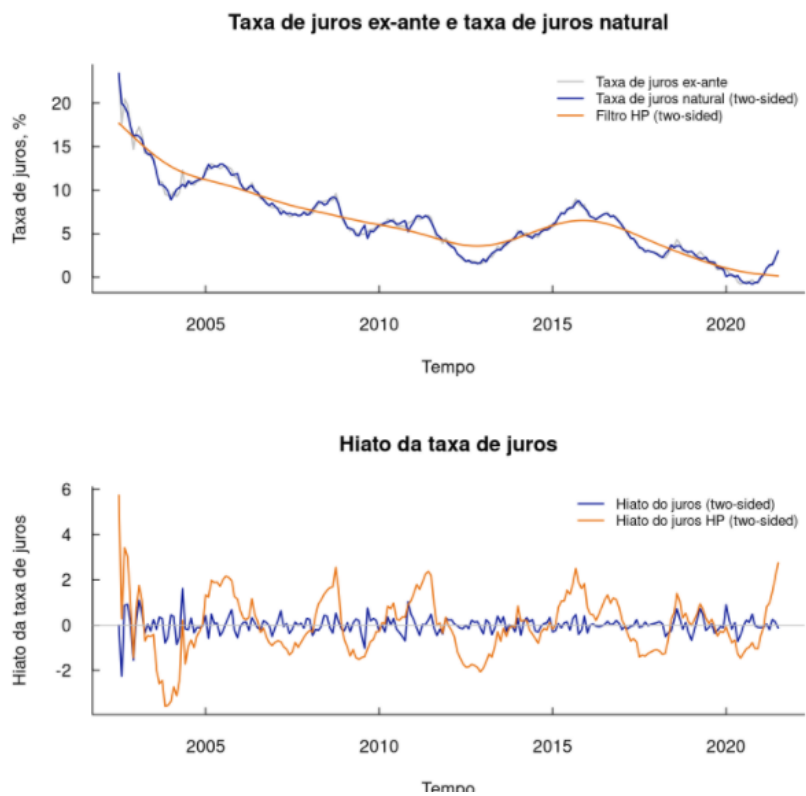
Modelo 2:



Modelo 2 – Restrito:



Modelo 3:



Modelo 3 – Restrito:

