Universidade de São Paulo
Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto
Departamento de Economia
Programa de Pós-Graduação em Economia - Área: Economia Aplicada

João Pedro de Camargo Mainente

Controle da volatilidade do câmbio: um estudo não linear e simulado

ORIENTADOR: PROF. DR. ALEX LUIZ FERREIRA

Ribeirão Preto
2018

JOÃO PEDRO DE CAMARGO MAINENTE

Controle da volatilidade do câmbio: um estudo não linear e simulado

Dissertação de Mestrado Submetida
ao Programa de Pós-Graduação em
Economia - Área: Economia Apli-
cada da Faculdade de Economia, Ad-
ministração e Contabilidade de Ri-
beirão Preto da Universidade de São
Paulo, como Parte dos Requisitos
Necessários para a Obtenção do Tí-
tulo de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Alex Luiz Ferreira

Ribeirão Preto

2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Mainente, João Pedro de Camargo

Controle da volatilidade do câmbio: um estudo não linear e simulado

67 folhas : il.;

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto/USP.

Orientador: Ferreira, Alex Luiz

1. Taxa de Câmbio 2. Política Cambial 3. Banco Central do Brasil (BCB) 4. Intervenções.

Folha de Aprovação

Nome: MAINENTE, João Pedro de Camargo

Título: Controle da Volatilidade do Câmbio: um Estudo não linear e Simulado

Dissertação de Mestrado Submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia - Área: Economia Aplicada da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, como Parte dos Requisitos Necessários para a Obtenção do Título de Mestre em Ciências Econômicas.

Aprovado em:

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alex Luiz Ferreira (Orientador)
FEARP/USP

Prof. Dr. Márcio Poletti Laurini
FEARP/USP

Prof. Dr. Paulo Tenani
EESP/FGV

Prof. Dr. Márcio G. P. Garcia
PUC-Rio

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao professor Alex Ferreira pela imensurável paciência, pela orientação e por todas as interessantes discussões que tivemos ao longo da elaboração dessa dissertação. Ao professor Marcio Laurini, por participar das bancas desde a qualificação com comentários relevantes e pelas ajudas e sugestões que me deu ao longo da minha trajetória na FEA-RP. Ao professor Paulo Tenani, com quem tive um contato desde a graduação e hoje se dispõe a discutir minha dissertação e ao professor Márcio Garcia pela participação na banca de defesa desta dissertação.

Gostaria de dedicar esse parágrafo especialmente à pessoa que, sem sombra de dúvida, sentiu tanto quanto eu o processo do mestrado. Pessoa essa que não pude ver tanto quanto gostaria, mas que sempre esteve ao meu lado e que acreditou em mim mais do que eu mesmo. Por isso, agradeço à Carolina Lemos pelo companheirismo, paciência e apoio durante todo o meu mestrado.

Gostaria de agradecer enormemente aos meus pais, que apoiaram minha decisão de fazer o mestrado e durante todo ele sempre me apoiaram e incentivaram, mesmo estando em cidades diferentes. E também à Elza e ao Henrique, que também fizeram parte desse processo e também me apoiaram para continuar firme.

Agradeço a todos os amigos da pós-graduação, com quem dividi boas risadas, e aos amigos da vida. Em especial agradeço ao Marco Brancher, que me deu suporte constante antes e durante o mestrado.

Agradeço ao Pedro Venturi por ajudar na coleta de parte dos dados utilizados nessa dissertação.

Agradeço à CNPq pelo apoio financeiro.

RESUMO

MAINENTE, J.P.C. **Controle da volatilidade do câmbio: um estudo não linear e simulado**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2018.

O objetivo da presente dissertação é avaliar a atuação do Banco Central do Brasil no controle do excesso de volatilidade da taxa de câmbio. Para tanto, estima-se um modelo SETAR com dois limiares, com o intuito de identificar uma estrutura não linear na taxa de câmbio e, por meio da proposição de um modelo teórico, avaliar de que forma ocorreria a tomada de decisão acerca de intervenções no mercado de câmbio. Busca-se, também, por meio de simulações do modelo teórico proposto, entender como se relacionariam o comportamento de maior prazo da taxa de câmbio e a política de controle da volatilidade. Conclui-se que períodos marcados por uma tendência de constante depreciação (apreciação) da moeda podem estar relacionados a momentos de redução (acúmulo) de reservas internacionais mantidas pelo Banco Central.

Palavras-chave: Taxa de Câmbio, Política Cambial, Banco Central do Brasil (BCB), Intervenções.

ABSTRACT

MAINENTE, J.P.C. **Controle da volatilidade do câmbio: um estudo não linear e simulado.** 2018. Dissertation (Master) - School of Economics, Business and Accounting of Ribeirão Preto, University of Sao Paulo, Ribeirão Preto, 2018.

The objective of this dissertation is to evaluate the behavior of the Brazilian Central Bank, in its role of controlling exchange rate excess volatility. A SETAR model with two thresholds is estimated in order to identify a nonlinear structure for the exchange rate. A theoretical model is proposed for the monetary authority in order to evaluate optimal intervention policy. The theoretical model is then simulated to show how long-run trends in the exchange rate could be smoothed by control policies. The results show that depreciation (appreciation) trends could be related to significant reductions (accumulation) of international reserves.

Key Words: Exchange Rate, Exchange Rate Policy, Brazil's Central Bank (BCB), Interventions.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Reservas Internacionais	23
Figura 2 – Taxa de Câmbio R\$/US\$	24
Figura 3 – Resultado da Simulação para o Cenário Base ($\gamma = 0$)	31
Figura 4 – Resultado da Simulação para o Cenário $\theta = \beta$ ($\gamma = -0,0005$)	33
Figura 5 – Resultado da Simulação para o Cenário $\theta < \beta$ ($\gamma = -0,0005$)	34
Figura 6 – Resultado da Simulação para o Cenário $\theta > \beta$ ($\gamma = -0,0005$)	35

Lista de tabelas

Tabela 1 – Teste ADF de Raiz Unitária.	25
Tabela 2 – Teste ADF de Raiz Unitária Para os Dados Intradiários	25
Tabela 3 – Teste LM de Estrutura ARCH.	25
Tabela 4 – Teste LM de Estrutura ARCH dos Dados Intradiários	26
Tabela 5 – Teste de Linearidade da Amostra	26
Tabela 6 – Modelo SETAR por Dia	27
Tabela 7 – Estimativa da Volatilidade Adequada do BCB.	27
Tabela 8 – Parâmetros para estrutura ARCH(1)	29
Tabela 9 – Parâmetros para Simulação do Cenário Base ($\gamma = 0$)	30
Tabela 10 – Resultados das Simulações	37

Sumário

	Lista de ilustrações	1
	Lista de tabelas	2
	Sumário	3
1	REVISÃO DA LITERATURA	7
1.1	Literatura Tradicional Internacional	7
1.2	Teoria de Microestrutura da Taxa de Câmbio e Intervenções Cambiais	9
1.3	Intervenções no Mercado de Câmbio Brasileiro	11
2	MODELO TEÓRICO	15
2.1	Hipóteses Principais e Forma Estrutural	16
2.2	Forma Reduzida e Interpretações	18
2.3	Metodologia	20
3	DADOS E RESULTADOS	23
3.1	Dados	23
3.2	Estimação do Modelo SETAR e Interpretações.	26
3.3	Simulação do Modelo Teórico	28
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
	REFERÊNCIAS	41

Introdução

O sistema de Bretton Woods, parte fundamental dos acordos de criação do FMI, estabelecia a todos os países membros da organização a adoção de um regime de câmbio fixo, no qual suas moedas deveriam ser fixadas com relação ao dólar, que por sua vez era fixado a um valor específico de ouro. As taxas de câmbio estabelecidas pelo órgão poderiam ser alteradas apenas de modo a corrigir “desequilíbrios fundamentais” e com a concordância do FMI. Oficialmente suspenso em 1971, os países membros possuem a partir de então liberdade para determinar seu regime cambial desejado.

O período após o sistema de Bretton Woods caracterizou-se por um significativo ganho de relevância no meio acadêmico para os estudos sobre sistemas cambiais e efeitos de política cambial. Isso ocorre concomitantemente com a significativa adoção de regimes de câmbio flutuante e a preocupação de que as autoridades monetárias continuariam a atuar no mercado cambial de forma a manipular a taxa de câmbio (ver (DOMINGUEZ, 1990) e (EDISON, 1993)). Dois canais surgem, inicialmente como principais mecanismos de avaliação do impacto das intervenções por parte de Bancos Centrais. Posteriormente, a teoria de microestrutura da taxa de câmbio passa a contribuir ao entendimento do comportamento da taxa de câmbio e dos impactos destacando o papel dos fluxos de ordem em agregar informações acerca dos diferentes agentes do mercado.

No caso brasileiro, tem-se como uma das funções da autoridade monetária, como executora da política cambial, a de evitar a volatilidade excessiva da moeda, mantendo títulos e moedas estrangeiros para atuação nos mercados cambiais, como exposto pelo próprio Banco Central. Ademais, observa-se a existência de uma lacuna no estudo acerca do papel da autoridade monetária dentro do arcabouço de microestrutura no mercado brasileiro, a qual busca-se parcialmente ocupar por meio do presente trabalho.

Observa-se, também, que entre 2009 e 2011, o Banco Central brasileiro acumulou aproximadamente US\$ 150 bilhões em reservas, fato não desprezível ao considerar que o impacto estimado de 1 bilhão em fluxo de ordem de compra de moeda estrangeira pode causar uma depreciação de, aproximadamente, 1% na taxa de câmbio (VENTURA; GARCIA, 2012).

Objetivando, portanto, estudar o comportamento do Banco Central do Brasil em sua função de executor da política cambial, propõe-se a elaboração de um modelo teórico, combinando elementos da literatura relevante. Supõe-se que as intervenções ocorram apenas no mercado à vista de moeda estrangeira e no mercado de swaps, que tais intervenções possuam impacto qualitativo na taxa de câmbio similar ao de um fluxo de ordem de mercado, e que o problema de condução da política cambial se dê pela “administração da volatilidade” da taxa de câmbio. O modelo elaborado também sugere uma estrutura não linear para o comportamento da taxa de

câmbio, uma vez que a autoridade monetária somente intervém em momentos de volatilidade acima do desejado, ausentando-se do mercado nos demais momentos. Uma forma de se estudar tal comportamento é por meio dos modelos autoregressivos com limiar, opção escolhida para o presente trabalho.

O resultados obtidos nesta dissertação apontam para um comportamento não linear da série do câmbio, sugerindo que a estrutura proposta para o modelo possui certa aderência aos dados. Ademais, resultados simulados apontam que, caso a taxa de câmbio não possua uma tendência de longo prazo, não se esperaria acúmulo nem redução do estoque de reserva ao longo do período, algo que, no entanto, não é observado em períodos de tendência de apreciação – depreciação – do câmbio.

O presente trabalho é estruturado da seguinte forma: o primeiro capítulo apresenta a revisão de literatura que servirá de base para as hipóteses adotadas no modelo teórico, que será apresentado no segundo capítulo. No terceiro capítulo, apresentam-se os dados utilizados, o resultado da estimação do modelo não linear para a taxa de câmbio e os resultados das simulações. Considerações finais são apresentadas por último.

1 Revisão da Literatura

O Fundo Monetário Internacional (FMI), criado em 1944, tinha como principal objetivo a instauração de um sistema de cooperação econômica internacional, a ser adotado após o término da Segunda Guerra Mundial, com a função de evitar a repetição de políticas econômicas desastrosas que seguiram a Primeira Guerra Mundial e possivelmente levaram à Grande Depressão de 1929¹.

O sistema de Bretton Woods, parte fundamental dos acordos de criação do FMI, estabelecia a todos os países membros da organização a determinação de um regime de câmbio fixo, no qual suas moedas deveriam ser fixadas com relação ao dólar que, por sua vez, era fixado a um valor específico de ouro. As taxas de câmbio estabelecidas poderiam ser alteradas apenas de modo a corrigir “desequilíbrios fundamentais” e com a concordância do FMI¹.

Durante a década de 1960, no entanto, uma supervalorização do dólar levou a frequentes déficits no balanço de pagamentos norte-americano, reduzindo os estoques de ouro dos Estados Unidos e, conseqüentemente, a confiança no sistema de câmbio estabelecido (BORDO, 2008). O sistema de Bretton Woods foi oficialmente suspenso em 1971² e, desde então países membros do FMI possuem liberdade para determinar seu arranjo cambial desejado, adotando a livre flutuação do câmbio, fixando-o a outras moedas, adotando a moeda de outros países ou mesmo formando uma união monetária.

Com o objetivo de contextualizar uma parcela do histórico de política cambial, as próximas seções abordarão a parcela da literatura de macroeconomia internacional que investiga o impacto das intervenções de Bancos Centrais sobre a taxa de câmbio. A primeira sub-seção expõe os trabalhos aqui denominados “tradicionais”, no sentido de que se utilizam de modelos macroeconômicos ou econométricos *ad hoc* ou microfundamentados, porém não se baseiam na teoria de microestrutura da taxa de câmbio. Essa última será apresentada na seção seguinte e é relevante para os propósitos dessa dissertação, pois considera uma importante característica do mercado, a heterogeneidade entre os agentes.

1.1 Literatura Tradicional Internacional

O período após o sistema de Bretton Woods caracterizou-se por um significativo ganho de relevância no meio acadêmico para estudos sobre sistemas cambiais e efeitos de política, principalmente com a cada vez mais significativa adoção de regimes de câmbio flutuante e a preocupação de que autoridades monetárias continuariam a atuar no mercado cambial de forma

¹Conforme nota do FMI: <<https://www.imf.org/external/about/histcoop.htm>>

²Conforme nota do FMI: <<https://www.imf.org/external/about/histend.htm>>

a manipular a taxa de câmbio (DOMINGUEZ, 1990). Como exposto por Edison (1993), essa literatura econômica passou a estudar a atuação direta de Bancos Centrais nos mercados cambiais à vista por meio da definição de dois possíveis canais de transmissão da política cambial: o “canal de sinalização” e o “canal de balanceamento de portfólios”.

O canal de sinalizações é definido por Mussa (1981) como aquele em que intervenções no mercado de câmbio podem sinalizar comportamentos futuros da política monetária e que, portanto, afetam as expectativas dos agentes. Um componente fundamental para o funcionamento desse canal é a credibilidade que a autoridade monetária deve ter, de forma que a sinalização que a mesma busca passar ao mercado seja crível. Dominguez (1990) pontua tal importância da credibilidade do Banco Central ao avaliar as intervenções do Banco Central alemão no mercado de câmbio entre dólar e marco alemão entre 1985 e 1987, encontrando indicações de impactos significativos das intervenções sobre as expectativas dos agentes do mercado.

O canal de balanceamento de portfólio, por outro lado, depende da hipótese de que ativos locais e estrangeiros sejam substitutos imperfeitos, de forma que qualquer intervenção esterilizada poderia alterar a taxa de câmbio, ao afetar a oferta relativa dos ativos ((TRYON et al., 1983) e (HUMPAGE, 1991)). Diferentemente do canal de sinalização, o canal de balanceamento de portfólio possui um conjunto de equações que representa o comportamento dos agentes, de forma que os artigos se diferem ao adotar hipóteses acessórias distintas a tais equações.

Segundo Edison (1993), uma das hipóteses é de que agentes são avessos ao risco, de forma que estes não sejam indiferentes quanto à composição de suas riquezas. Ademais, equações que relacionam demanda de ativos domésticos e internacionais com retornos esperados, riqueza e custo de transação desses ativos são outro componente do arcabouço geral deste canal.

Considerando tais canais, Hung (1997) avalia o impacto de intervenções por parte da autoridade monetária norte-americana sobre as cotações diárias do marco alemão e iene japonês no período entre 1985 e 1989. O autor desenvolve sua argumentação por meio de um modelo que o mesmo denomina de “Negociação de Ruído”, que depende de expectativas não consistentes com fundamentos econômicos e que pode ser realizado por parte dos agentes atuando no mercado de câmbio. Quando uma parcela significativa desses agentes realiza esse tipo de negociação, a taxa de câmbio pode ser desviada do seu valor de equilíbrio fundamental.

Sendo assim, para Hung (1997), o papel das intervenções da autoridade monetária é o de transmitir informação a respeito de valores futuros de variáveis macroeconômicas, de forma a alinhar as expectativas de negociadores de ruído e daqueles que se baseiam em fundamentos, mantendo a taxa de câmbio em equilíbrio. Utilizando dados diários de intervenções divulgados pelo *Federal Reserve*, o autor observa que a autoridade monetária pôde reduzir a volatilidade das taxas de câmbio entre 1985 e 1986, fato esse não observado entre 1986 e 1989.

Baillie e Osterberg (1997) avaliam os efeitos das intervenções da autoridade monetária no mercado de câmbio americano baseando-se na classificação por canais. Os autores utilizam-se

de dados diários entre 6 de agosto de 1985 a 1 de março de 1990, de um modelo GARCH para modelar a volatilidade condicional do dólar frente ao marco alemão e ao iene japonês, além de um modelo Probit para estimar a probabilidade de intervenção. Segundo os autores, as intervenções do Banco Central no mercado de câmbio estão associadas a um pequeno aumento da volatilidade da taxa de câmbio, enquanto não se observa impacto relevante sobre o nível da taxa de câmbio. Constata-se, também, que a probabilidade de intervenção do Federal Reserve é maior em períodos de alta volatilidade (BAILLIE; OSTERBERG, 1997).

Para testar a eficiência do canal de sinalização, Humpage (1989) e Dominguez (1990) utilizam a variação da taxa de câmbio defasada em dois dias, uma variável de intervenção defasada em um período e a defasagem do diferencial de taxa de juros como variáveis explicativas da taxa de câmbio à vista. Tais variáveis explicativas são escolhidas uma vez que representam uma medida de expectativa para a taxa de câmbio antes de haver intervenção e uma medida de mudanças na política monetária em si. Apesar de acreditarem que o canal de sinalização seja o principal em termos de condução da política cambial, ambos os trabalhos não conseguem estimar de forma isolada os efeitos do mesmo. Dominguez e Frankel (1993) propõem, então, avaliar uma estrutura combinada dos dois canais, estimando equações tanto para a parte de balanceamento de portfólio, quanto para a formação das expectativas dos agentes econômicos. Com isso, os autores encontram indicações de um funcionamento combinado de ambos os canais, observando resultados significativos para as intervenções.

A literatura até então apresentada sugere, portanto, a existência de dois principais canais de transmissão da política cambial que devem ser considerados simultaneamente. Os resultados obtidos apontam, também, para momentos em que intervenções sobre o mercado de câmbio foram bem sucedidas em reduzir a volatilidade da taxa de câmbio. É válido ressaltar, no entanto, que existem momentos em que os resultados apontam para um sentido contrário ao esperado, ou seja, intensificando a volatilidade da moeda. Como será mostrado no capítulo 2, o modelo teórico incorpora a noção de balanceamento de portfólios ao considerar o modelo de microestrutura da taxa de câmbio, que, em sua cerne, é um modelo de reajustamento de portfólio dos agentes do mercado interbancário (ver (EVANS; LYONS, 2002)). Já a noção de sinalização pode ser relacionada à magnitude do parâmetro do fluxo de ordem do Banco Central brasileiro. Acredita-se que, quanto maior a credibilidade da autoridade, menor deve ser a intervenção para conter a volatilidade e, conseqüentemente, maior o parâmetro.

1.2 Teoria de Microestrutura da Taxa de Câmbio e Intervenções Cambiais

A teoria de microestrutura da taxa de câmbio, como apresentada por Evans e Lyons (2002), surge como uma resposta alternativa ao enigma de macroeconomia internacional acerca da aparente desconexão entre os fundamentos macroeconômicos e a taxa de câmbio de curto prazo

(Rogoff e Obstfeld (2000)). Uma variável central nesses modelos é o fluxo de ordem (resultado líquido entre negociações iniciadas por compradores e iniciadas por vendedores), que tem o papel de agregar informações acerca dos diferentes agentes do mercado de câmbio e transmitir tais informações à taxa de câmbio.

A ideia básica por trás desses modelos é a de que, em todo início de período, os agentes observam o estado da natureza no qual estão inseridos, formam suas expectativas para quanto desejam de moeda naquele momento e negociam sua demanda ou oferta no mercado até o ponto de equilíbrio de seus portfólios individuais (ver Evans e Lyons (2002) e Evans (2011)). Existe, também, uma heterogeneidade entre os agentes no que tange ao conjunto de informações disponíveis e a interpretação das mesmas (BACCHETTA; WINCOOP, 2006).

Em especial, o modelo desenvolvido por Bacchetta e Wincoop (2006) é frequentemente referenciado nos trabalhos a serem apresentados nessa seção, uma vez que engloba elementos de diferentes áreas da literatura de macroeconomia internacional. Bacchetta e Wincoop (2006) consideram uma estrutura de equilíbrio geral dinâmico, incorporando a noção de que o preço dos ativos agrega informações privadas sobre os agentes de mercado, que não são observadas por completo devido a choques não previstos, e o papel crucial do fluxo de ordem na transmissão de informações ao mercado.

Ademais, um ponto importante para os modelos de intervenção é que, além de compradores, vendedores e corretores, existe também uma autoridade monetária que atua no mercado de moeda internacional. No Brasil, como será mostrado na próxima seção, tal autoridade tem o papel de executora da política cambial com o objetivo explícito de controle da volatilidade de mercado dentro de determinados limites e, para isso, ela pode assumir posições cambiais, afetando a taxa de câmbio.

Utilizando o conceito de heterogeneidade de Bacchetta e Wincoop (2006), Dominguez (2006) observa que políticas de intervenção no mercado de câmbio não provocam impactos no longo prazo. No curto prazo, no entanto, intervenções carregam informações relevantes quanto ao preço das moedas, podendo gerar reduções na volatilidade. Tal redução, no entanto, nem sempre é observada, pois muitas vezes o impacto de tais políticas pode não ser de conhecimento comum entre os diferentes agentes, causando desalinhamentos das expectativas dos mesmos.

Reitz e Taylor (2008) propõem um canal de transmissão da política cambial, por meio do qual intervenções podem afetar a volatilidade do preço da moeda estrangeira. Segundo os autores, um contexto de múltiplos negociadores no mercado pode acarretar em situações de assimetria de informação entre *market makers* e o papel do Banco Central seria de um negociador sem tais assimetrias. Logo, as intervenções da autoridade teriam o papel de disseminar as informações simetricamente.

Utilizando a estrutura proposta por Bacchetta e Wincoop (2006) para a taxa de câmbio, Reitz e Taylor (2008) enfatizam, portanto, que as políticas da autoridade têm um papel de coordenação

de expectativas, de forma que intervenções oficiais possam coordenar as expectativas sobre variáveis macroeconômicas (REITZ; TAYLOR, 2008). Os autores encontram resultados que sustentam tal hipótese, de acordo com o seguinte mecanismo: a taxa de câmbio pode seguir uma tendência de reversão à média, causada por uma especulação estabilizadora por parte de negociadores mais bem informados, processo que depende da confiança desses negociadores em relação a fundamentos da economia e do mercado.

Vitale (2008), utilizando uma versão simplificada de modelo teórico de Bacchetta e Wincoop (2006), argumenta que intervenções no mercado de câmbio podem ter efeitos significativos dependendo da carga informativa que carregam. Para o autor, tais intervenções podem fornecer informações sobre valores futuros de fundamentos da taxa de câmbio, de forma que intervenções diretas no mercado de câmbio devem transmitir tais informações de forma menos distorcida do que intervenções intermediadas ou indiretas. Vitale (2008) aponta, também, que as mesmas políticas podem intensificar a volatilidade da moeda se aplicadas em larga escala, uma vez que podem sinalizar uma crise iminente.

No que tange a literatura internacional a respeito de países em desenvolvimento, Karacadag e Guimarães (2004) avaliam o impacto das intervenções dos Bancos Centrais mexicano e turco sobre a volatilidade e nível da taxa de câmbio. Ambos os países possuem uma autoridade monetária cujo objetivo era o controle do excesso da volatilidade de suas respectivas moedas, como observado no caso brasileiro. Os autores enfatizam o papel do fluxo de ordem gerado pelas autoridades no mercado de câmbio como um todo e por meio de um modelo GARCH apontam que as intervenções da autoridade monetária mexicana tiveram pouco sucesso no controle da volatilidade, enquanto as da autoridade monetária turca foram bem sucedidas em reduzir a volatilidade apenas no curto prazo.

Nota-se por meio desta breve apresentação dessa literatura que o arcabouço teórico dos modelos de microestrutura da taxa de câmbio permite uma nova via para a compreensão dos impactos de intervenções no mercado de câmbio, principalmente ao atribuir ao fluxo de ordem o papel de principal transmissor de sinalizações entre os agentes, incluindo a autoridade monetária.

A próxima seção, apresenta uma breve revisão dos artigos que estudam o impacto de intervenções sobre o mercado de câmbio brasileiro, utilizando tanto modelos tradicionais, quanto modelos de microestrutura. Observa-se a existência de uma lacuna no estudo acerca do papel da autoridade monetária dentro do arcabouço de microestrutura no mercado brasileiro, a qual busca-se parcialmente ocupar por meio do presente trabalho.

1.3 Intervenções no Mercado de Câmbio Brasileiro

Conforme afirmado pelo Departamento de Relacionamento com o Investidor do Banco Central do Brasil (GERIN/BCB), uma das funções da autoridade monetária, como executora da política cambial, é a de evitar a volatilidade excessiva da moeda, “mantendo títulos e moedas

estrangeiras para atuação nos mercados cambiais” (GERIN, 2016). O texto da “Série Perguntas Mais Frequentes” do Banco Central do Brasil (BCB) explicita:

‘A execução da política cambial cabe ao BCB. Para isso, o BCB mantém ativos em ouro, títulos e moedas estrangeiras para atuação nos mercados de câmbio, que compõem as reservas internacionais do País, de forma a contribuir para a sustentabilidade das contas externas do País, **bem como evitar volatilidade excessiva da moeda**, de acordo com as diretrizes da política econômica” (ênfase adicionada)³

Oliveira e Plaga (2011) avaliam, portanto, o impacto das intervenções do BCB sobre a volatilidade da taxa de câmbio real-dólar por meio de um modelo E-GARCH e uma base de dados diária de 1999 a 2006, com cotação do câmbio à vista e intervenções⁴ do BCB. Os resultados obtidos neste estudo são antagônicos, existindo momentos em que intervenções à vista aumentaram a volatilidade da cotação da moeda, como no caso da primeira metade de 1999. Há, no entanto, resultados positivos quanto à redução da volatilidade, como em 2002 (pré governo Lula), período no qual a maior parcela das intervenções ocorreu via títulos cambiais. Segundo os autores, tal diferença de resultado pode estar relacionada “à implementação por parte do Banco Central do Brasil(...) de um conjunto de políticas macroeconômicas que aumentaram sua credibilidade junto ao mercado” após a crise cambial de 1999 (OLIVEIRA; PLAGA, 2011).

Araújo e Goldfajn (2004) complementam a análise de intervenções do BCB ao constatarem a existência de um problema simultaneidade⁵ entre a variação da taxa de câmbio e as intervenções cambiais, que, por sua vez, pode ser o motivo pelo qual grande parte da literatura aponte que intervenções no mercado de câmbio levem a aumentos na volatilidade do câmbio. Utilizando a metodologia proposta por Vella (1993) para a estimação consistente de modelos simultâneos com regressores censurados, os autores identificam a existência de uma característica de simultaneidade das intervenções entre 2000 e 2003. Controlando tal efeito, os resultados das estimações apontam para um impacto positivo na redução da volatilidade da taxa de câmbio. Ademais, os autores encontram evidências de que o comportamento da taxa de câmbio possui uma tendência de suavização no tempo análoga àquela descrita por Reinhart (2000)⁶ como *Fear of Floating* (ARAÚJO; GOLDFAJN, 2004).

De forma análoga, Barroso (2014) propõe utilizar a volatilidade realizada da taxa de câmbio para a condição de ortogonalidade da estimação por variáveis instrumentais. Segundo o autor, o

³Disponível em <<http://www.bcb.gov.br/contendo/home-ptbr/FAQs/FAQ%2011-Fun%C3%A7%C3%B5es%20do%20Banco%20Central.pdf>>.

⁴Os autores consideram quatro instrumentos de intervenção: taxa de juros doméstica (Selic), compras e vendas à vista, representadas pelo saldo diário das operações com o setor externo, títulos e *swaps* cambiais.

⁵Tal questão de simultaneidade já havia sido levantada por Edison (1993) também na literatura internacional.

⁶Existem trabalhos como o de Reinhart (2000) e FMI (2006) que apontam para um descasamento entre os regimes cambiais *de facto* adotados pelos países e os que se informa *de jure*. Tal descasamento pode ser consequência do fenômeno definido Reinhart (2000)

impacto de uma venda (compra) de um bilhão de dólares como política de intervenção do BCB resulta em uma depreciação (apreciação) do câmbio em 0,51%.

Simonassi, Silva e Arraes (2012), seguindo uma abordagem diferente dos demais autores, utilizam métodos não lineares para avaliar o comportamento da série do câmbio. Utilizando um modelo auto regressivo com limiar (*Threshold Autoregressive*) para dados mensais de janeiro de 2000 a setembro de 2009, os autores apontam que em momentos nos quais a variação cambial supera 2 pontos percentuais, há uma mudança no comportamento da série em relação a sua estacionariedade. Segundo os autores, existem evidências de que a série mensal do retorno da PTAX seja globalmente estacionária, mas, para variações da taxa inferiores a 2,02 pontos percentuais, a série apresenta características de um passeio aleatório. Para variações superiores a 2,02 pontos percentuais, a série se torna estacionária. Além disso, apesar de existirem diferentes interpretações para os resultados, os mesmos corroboram a ideia de *Fear of Floating* desenvolvida por Calvo e Reinhart (2002) e contribuem para o melhor entendimento da atuação do BCB no mercado de câmbio, ao definir um limiar no qual essa característica é mais presente (SIMONASSI; SILVA; ARRAES, 2012).

A respeito dos modelos de microestrutura da taxa de câmbio, no Brasil um dos trabalhos pioneiros a estudar a aderência dos modelos de microestrutura é o de Ventura e Garcia (2012), no qual os autores estimam que, entre fevereiro de 2006 e maio de 2007, 1 bilhão em fluxo de ordem de compra causaria uma depreciação do real tanto no mercado à vista quanto no mercado futuro em, aproximadamente, 1%.

Utilizando o arcabouço de microestrutura, Kohlscheen (2012) compara o impacto do fluxo de ordem sobre a taxa de câmbio em dias que não houveram intervenção do BCB com o impacto nos dias em que o BCB foi ativo. Segundo as estimativas do parâmetro, em dias que houveram a presença do BCB no mercado, a taxa de câmbio responde menos ao fluxo de ordem, correspondendo a um valor de coeficiente menor. Ou seja, a intervenção do BCB no mercado de câmbio poderia minimizar os efeitos de variações do mercado o que, em momentos de fluxos expressivos de venda (compra), poderia significar um impacto positivo para a contenção da volatilidade.

Segundo Rossi (2015), a estrutura de formação de preço no mercado cambial brasileiro impõe que é no mercado futuro que o valor da taxa de câmbio é formado e então transmitido para o mercado à vista por meio de estratégias de arbitragem. Com isso, para o autor, as intervenções no mercado à vista podem ter efeito reduzido, pois, apesar de afetar a taxa de câmbio absorvendo (provendo) excessos (falta) de liquidez, não estariam atuando na origem de possíveis causas de alta volatilidade.

Nesse sentido, Chamon, Garcia e Souza (2017) utilizam uma abordagem distinta para avaliar o impacto do programa de *swaps* anunciado pelo BCB em 2013 sobre o nível e a volatilidade da taxa de câmbio entre agosto de 2013 e abril de 2015. Sua metodologia consiste em construir um contrafactual para a taxa de câmbio, utilizando taxas de outros países que apresentavam

um “co-movimento com a brasileira anteriormente ao anúncio do programa”. Os resultados obtidos pelos autores apontam para uma apreciação significativa do real nas semanas seguintes ao anúncio do programa, chamando atenção para o fato de que intervenções de swaps já ocorriam no mercado de câmbio sem surtir efeitos significativos. Com a adoção de uma regra, no entanto, o efeito das intervenções de swap passam a ser, em parte, eficazes na contenção da volatilidade.

Chamon, Garcia e Souza (2017) encontram, também, um impacto não desprezível sobre a volatilidade da taxa de câmbio, medido pela volatilidade implícita dos contratos futuros de três meses⁷. Tal impacto, no entanto, não se manteve com as renovações do programa em 2014.

A literatura apresentada nesse capítulo aponta, de forma geral, que intervenções de autoridades monetárias deveriam sinalizar o comportamento futuro de variáveis macroeconômicas, carregando uma carga informativa maior do que aquelas presentes no mercado, alinhando expectativas e provendo segurança aos agentes inseridos no mesmo. Vitale (2008), Reitz e Taylor (2008) e Kohlscheen (2012) mostram, também, que incorporar o fluxo de ordem como agregador de informação dos agentes aponta para resultados significativos para uma resposta positiva do câmbio às políticas de intervenção. No Brasil, no entanto, a abordagem pelos modelos de microestrutura ainda é pouco explorada. Ademais, a literatura nacional e internacional avaliada aparenta não explorar a decisão de atuação por parte do BCB no segundo momento do câmbio por meio de uma função de reação da autoridade frente a variáveis de mercado, nos mesmos moldes de uma função de reação para a política monetária.

Dessa forma, o presente trabalho buscará expandir a literatura de macroeconomia internacional, no sentido de avaliar a atuação do BCB por meio de uma função de reação, construída a partir de uma função de perda em relação ao segundo momento da taxa de câmbio e de parâmetros estruturais calibrados a partir de valores obtidos na revisão de literatura.

⁷Segundo Chamon, Garcia e Souza (2017) utilizar a volatilidade implícita dos contratos futuros de três meses da moeda americana seria uma boa medida *forward looking* que incorpora o impacto do programa de forma mais imediata.

2 Modelo Teórico

A revisão da literatura feita na seção anterior aponta na direção de um modelo teórico que tem como objetivo auxiliar a compreensão da atuação do BCB durante o período de investigação escolhido, e é composto por três ingredientes principais. O primeiro ingrediente é a hipótese de que a intervenção se dá no mercado à vista, via compra e venda de reservas externas, ou no mercado de derivativos por meio de *swaps* e a magnitude o impacto de cada intervenção é similar. O segundo ingrediente é que essa intervenção tem um impacto qualitativo na taxa de câmbio, similar ao de um fluxo de ordem do mercado, ou seja, seria através do resultado líquido de compras iniciadas pelo Banco Central e vendas iniciadas pelo mesmo no mercado à vista que ocorreria, por suposição, o impacto na taxa de câmbio. Em outras palavras, o modelo assume explicitamente que o canal de sinalização, conforme exposto na seção anterior, se dá por meio de uma variável conceitualmente similar à do fluxo de ordem de mercado. Essa última ideia inspira-se tanto nos modelos, quanto nos achados da teoria de microestrutura, principalmente no que se refere ao conteúdo informacional do fluxo de ordem. O próprio modelo de ajustamento de carteiras (veja Evans e Lyons (2002) para uma exposição detalhada do modelo) implica que o fluxo de ordem no mercado interbancário depende das ordens provenientes dos clientes no mercado primário, as quais, por sua vez, dependem de variações inesperadas nas rendas desses agentes¹.

Em terceiro lugar, considera-se que o problema de execução da política cambial em um regime de câmbio flexível é dado pela “administração da volatilidade”, conforme sugerido pelo próprio Banco Central e descrito na seção 1.3. De forma mais objetiva, supõe-se que o problema da autoridade cambial do Banco Central do Brasil seja o de minimizar desvios da volatilidade em relação a um valor considerado adequado ou ótimo, dado exogenamente. Essa opção de modelagem tem inspiração na literatura, já bastante consolidada, que sugere a existência de uma função de reação a desvios da meta de inflação, baseada no instrumento da taxa de juros.

Nesse sentido, seria até mesmo admitida uma função de reação do tipo “*leaning against the wind*”, em que a taxa de juros responde a variações do câmbio². O que se propõe, no entanto, é algo distinto e complementar à ideia de função de reação (via juros). Busca-se modelar a atividade, por exemplo, da gerência do BCB encarregada da execução da política cambial ou da administração do volume de reservas internacionais, por meio de uma função de perda. Como será possível deduzir adiante, a função de perda para a volatilidade seria análoga à função de perda do problema da inconsistência dinâmica em teoria monetária, sendo feita uma ressalva ao

¹Para uma investigação entre as ordens no mercado primário, o excesso de demanda no mercado secundário de câmbio e o fluxo de ordem ver Lázaro (2017).

²Krohn e Moore (2018), por exemplo, incorporam à função de reação típica (com instrumento dos juros), características de *leaning against the wind* acopladas à informações do mercado interbancário de câmbio. Esse papel, para o Banco Central do Brasil, por exemplo, seria cumprido pelo Copom.

tamanho do impacto teórico da perda sobre o bem-estar social.

O modelo apresentado a seguir tem o objetivo de ajudar a elucidar como o BCB utiliza-se do instrumento de intervenção, com o objetivo de administrar a volatilidade do câmbio. É importante ressaltar que o foco do modelo é no segundo momento do câmbio e que, portanto, pode ser entendido como complementar ao objetivo maior da autoridade monetária, de manter o poder de compra da moeda via uma função de reação típica (Regra de Taylor).

2.1 Hipóteses Principais e Forma Estrutural

Supõe-se, inicialmente, que o BCB define uma volatilidade diária adequada (ou ótima) para a taxa de câmbio. Esse valor é definido exogenamente, porém é possível imaginar que ele dependa de fundamentos macroeconômicos nacionais ou internacionais, preferências dos agentes ou de aversão ao risco, entre outros. O escopo do presente trabalho não é, no entanto, investigar tal determinação. Assume-se, adicionalmente, por simplificação, que o valor dessa volatilidade é constante ao longo dos dias.

Considera-se então que a autoridade monetária teria uma perda de “bem-estar” todas as vezes em que a volatilidade real se distanciasse da volatilidade adequada. Uma forma de incorporar tal ideia é dada pela equação abaixo

$$\mathcal{L}^s = \sum_{i=0}^T (\Delta s_{t+i}^2 - \sigma^2)^2, \quad (2.1)$$

na qual σ^2 representa a volatilidade da taxa de câmbio considerada adequada pela autoridade monetária, Δ representa a primeira diferença e s_t é o logaritmo da taxa de câmbio à vista. A variável Δs_t^2 é, portanto, uma medida de volatilidade realizada no mercado. Observa-se que essa equação encontra analogia na literatura de política monetária, que incorpora uma função de perda aos desvios do PIB em relação ao seu produto potencial e da inflação em relação à sua meta, frequentemente vistos na literatura de inconsistência dinâmica (ver Kydland e Prescott (1977)). Dependendo das variáveis determinísticas que definem o comportamento dinâmico da taxa de câmbio, o fator de *leaning against the wind* na função de resposta (como sugerem versões da regra de Taylor (TAYLOR, 1999)) é incorporado diretamente na função perda $\mathcal{L}^s$ da gerência do BCB.

Para a modelagem do comportamento da taxa de câmbio, incorporam-se dois elementos principais, a de que o nível da taxa de câmbio segue um passeio aleatório, tendo respaldo na literatura que se seguiu do trabalho seminal de Meese e Rogoff (1983)³, e a especificação proposta pelos modelos de microestrutura para a taxa de câmbio, em especial Evans e Lyons (2002) e Evans (2011). Esses modelos sugerem que a variação diária do câmbio é principalmente

³Para estudos do caso de passeio aleatório na taxa de câmbio brasileira ver (ROSSI, 2013) e (MARÇAL; JÚNIOR, 2015)

uma função linear do fluxo de ordem inesperado, que depende de mudanças nos fundamentos econômicos. Uma vez que se reconhece que intervenções diretas não esperadas do BCB impactam o mercado de câmbio à vista, assume-se que a variação do logaritmo da taxa de câmbio é dada por

$$\begin{aligned}\Delta s_t &= \gamma + \varepsilon_t \\ \text{e} \\ \varepsilon_t &= \beta \eta_t + \theta I_t,\end{aligned}\tag{2.2}$$

em que η_t é o fluxo de ordem do mercado e I_t corresponde ao “fluxo de ordem” resultante da atuação do BCB no mercado de câmbio, enquanto β e θ dimensionam o impacto do fluxo de ordem de mercado e da atuação do BCB sobre a variação da taxa de câmbio. Se a atuação da autoridade monetária possui credibilidade entre os agentes de mercado, esperar-se-ia que $\theta > \beta$, de forma que o conteúdo informacional da intervenção seja maior do que o do mercado.

Ademais, I_t pode ser dividido em dois componentes da política cambial do BCB, sendo eles x_t , correspondente ao fluxo de ordem no mercado à vista do BCB, e b_t , o resultado líquido do leilão de *swap* reverso, subtraindo-se o volume de leilão de *swap* tradicional realizado na data t pela autoridade monetária. Segundo Bastos e Fontes (2014), a intervenção via leilão de *swap* tradicional teria impacto análogo à venda de dólar no mercado à vista, tendo como principal diferença a ausência de troca efetiva de papel moeda, de forma que, a não ser que umas das partes necessite da moeda para outros fins, a mesma deveria ser indiferente entre aceitar o leilão de *swap* e comprar moeda. Sendo assim, supõe-se que, ao intervir no mercado de câmbio, o BCB decide inicialmente a magnitude de sua atuação (medida por I_t), para então decidir a sua composição (fluxo de ordem ou leilão de *swap*). Segundo Bastos e Fontes (2014), não há uma regra pública de como o BCB decide o seu mecanismo de intervenção, mas uma forma de incorporar esta diferenciação entre dois seria definir que $I_t \equiv \psi_1 x_t + \psi_2 b_t$, em que ψ_1 e ψ_2 diferenciam a magnitude da intervenção, seja ela feita via fluxo de ordem ou via contratos de *swap*.

Conforme apresentado pela literatura da seção 1.1, a variância condicional da taxa de câmbio apresenta estrutura temporal. Tal evidência também é corroborada pelos resultados obtidos no presente trabalho e apresentados na seção 3.1. Com o objetivo de incorporar tal dinâmica, assume-se que o fluxo de ordem de mercado se comporta segundo uma especificação ARCH(1)

$$\eta_t = v_t \sqrt{\alpha_0 + \alpha_1 \eta_{t-1}^2},\tag{2.3}$$

em que $v_t \sim N(0, 1)$, $\alpha_0 > 0$ e $|\alpha_1| < 1$.

É importante ressaltar que assume-se a estrutura ARCH somente para o fluxo de ordem do mercado e não para o fluxo de ordem do BCB, uma vez que o último é consequência de uma função resposta do BCB a situações de mercado.

Em suma, o problema da autoridade monetária⁴ pode ser representado por

$$\begin{aligned}
 \min_{\{I_{t+i}\}_{i=0}^T} \quad & \sum_{i=0}^T (\Delta s_{t+i}^2 - \sigma^2)^2 \\
 \text{sujeito à} \quad & \Delta s_{t+i} = \gamma + \varepsilon_{t+i}, \\
 & \varepsilon_{t+i} = \beta \eta_{t+i} + \theta I_{t+i}, \\
 & \eta_t = v_t \sqrt{\alpha_0 + \alpha_1 \eta_{t-1}^2} \text{ e} \\
 & \eta_{t-1} \text{ dado.}
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

Resolvendo-se a condição de primeira ordem para I_t , obtêm-se três resultados:

$$I_t = \frac{-(\gamma + \beta \eta_t)}{\theta} \tag{2.5}$$

ou

$$I_t = \frac{-(\gamma + \beta \eta_t - \sigma)}{\theta} \tag{2.6}$$

ou

$$I_t = \frac{-(\gamma + \beta \eta_t + \sigma)}{\theta}. \tag{2.7}$$

A equação (2.5) representa a possibilidade da adoção de um regime de câmbio fixo, como forma de neutralizar por completo a perda do BCB, como será visto na seção a seguir. As equações (2.6) e (2.7), por outro lado, apresentam resultados menos triviais, que serão explorados na seção abaixo.

2.2 Forma Reduzida e Interpretações

Segundo o modelo estrutural proposto em (2.4) e as condições de primeira ordem obtidas de (2.5) à (2.7), é possível observar três formas reduzidas para o problema:

1. Combinando (2.4) e (2.5), tem-se:

$$\begin{aligned}
 \Delta s_t &= \gamma + \beta \eta_t + \theta \left(\frac{-(\gamma + \beta \eta_t)}{\theta} \right), \\
 &= 0.
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

⁴O problema do BCB é resolvido a cada instante do tempo, após observar o fator v_t e o fluxo de ordem de mercado, portanto considerar o operador de esperança condicional no período t ($\mathbb{E}_t$) na função (2.1) não altera o resultado da função de resposta do BCB.

2. Combinando (2.4) e (2.6), tem-se:

$$\begin{aligned}\Delta s_t &= \gamma + \beta \eta_t + \theta \left(\frac{-(\gamma + \beta \eta_t - \sigma)}{\theta} \right), \\ &= \sigma.\end{aligned}\tag{2.9}$$

3. Combinando (2.4) e (2.7), tem-se:

$$\begin{aligned}\Delta s_t &= \gamma + \beta \eta_t + \theta \left(\frac{-(\gamma + \beta \eta_t + \sigma)}{\theta} \right), \\ &= -\sigma.\end{aligned}\tag{2.10}$$

Como descrito na seção anterior, o resultado obtido em (2.8) representa controle de câmbio perfeito, de forma a tornar a solução do modelo trivial.

Os resultados obtidos em (2.9) e (2.10), por outro lado, indicam cenários nos quais o BCB não adota um regime de câmbio fixo, mas direciona o sentido da variação da taxa de câmbio de forma a conter a sua volatilidade.

Uma vez que a autoridade monetária não intervém constantemente no mercado, espera-se que a atuação da mesma ocorra apenas em momentos nos quais a volatilidade esteja acima do desejado, dependendo também do sentido do comportamento da moeda. Assume-se, portanto, que tal atitude do BCB induza uma característica não linear na taxa de câmbio, algo também coerente com a literatura apresentada anteriormente (ver (REITZ; TAYLOR, 2008) e (KOHLSCHIEEN, 2012)).

Tem-se, portanto, que uma forma de se classificar a decisão de atuação por parte da gerência do BCB no cenário brasileiro seria de acordo com os seguintes cenários:

1. Se $\Delta s_t^2 \leq \sigma^2$, a gerência entende que as condições de volatilidade da taxa de câmbio estão satisfatórias, não vendo necessidade de intervenção no mercado.
2. Se $\Delta s_t^2 > \sigma^2$ e observa-se uma depreciação do Real, a gerência passa a atuar no mercado de forma a conter o excesso de volatilidade e a pressão de depreciação, optando por adotar uma política de intervenção $I_t = \frac{-(\gamma + \beta \eta_t - \sigma)}{\theta}$.
3. Se $\Delta s_t^2 > \sigma^2$ e observa-se uma apreciação do Real, o cenário é simétrico ao descrito acima. Assim, a gerência atuará no sentido de conter o excesso de volatilidade, ao mesmo tempo que combatendo parcialmente a pressão de apreciação do real. A estratégia escolhida pela gerência seria então $I_t = \frac{-(\gamma + \beta \eta_t + \sigma)}{\theta}$.

Logo, é possível descrever o comportamento da taxa de câmbio da seguinte forma:

$$\Delta s_t = \begin{cases} -\sigma & \text{se } \Delta s_t < -\sigma, \\ \gamma + \beta \eta_t & \text{se } -\sigma \leq \Delta s_t \leq \sigma, \\ \sigma & \text{se } \sigma < \Delta s_t. \end{cases} \quad (2.11)$$

Como será visto na seção de metodologia, uma forma de se investigar empiricamente o comportamento descrito para a série observada da taxa de câmbio seria através de modelos com mudança de regime, como, por exemplo, modelos autoregressivos com limiares.

2.3 Metodologia

A aplicação do resultado do modelo a um contexto não linear sugere que a taxa de câmbio apresente um comportamento similar ao de processos com mudança de regimes. Uma forma de se estudar tal comportamento seria por meio de modelos autoregressivos com valores limiares (*Threshold Autoregressive*), como no caso do modelo SETAR (*Self Exciting Threshold Autoregressive*), que, aperfeiçoado por Tong e Lim (1980), consiste em partes autoregressivas divididas por regimes. Esses regimes, por sua vez, podem ser definidos exogenamente antes da estimação ou podem ser estimados em conjunto com os demais parâmetros. No modelo SETAR, em especial, a variável que define a troca de regime pode ser a própria série em períodos defasados. Este modelo tem relevância para o estudo da taxa de câmbio, uma vez que pode resultar em previsões fora da amostra melhores do que as produzidas por um modelo de passeio aleatório ou se adequar melhor ao regime cambial vigente do país⁵ (ver Brooks (2001) e Chappell et al. (1996)).

Como visto acima, a atenção do BCB é voltada para a contenção da volatilidade excessiva da taxa de câmbio, de forma a assumir posições na ocorrência de uma depreciação – ou apreciação – elevada da moeda. Dessa forma, a adoção de um modelo SETAR com 3 regimes incorporaria as duas situações descritas anteriormente. Como será apresentado na próxima seção, tal escolha pode ser investigada por meio de um teste de linearidade para a série do câmbio no período analisado.

Sendo assim, um modelo SETAR de 3 regimes pode ser representado por:

$$\Delta s_t = \begin{cases} \phi_{10} + \phi_{11}\Delta s_{t-1} + \dots + \phi_{1L}\Delta s_{t-L} + \xi_t & \text{se } \Delta s_t \leq -\sigma \\ \phi_{20} + \phi_{21}\Delta s_{t-1} + \dots + \phi_{2L}\Delta s_{t-M} + \xi_t & \text{se } -\sigma < \Delta s_t \leq \sigma \\ \phi_{30} + \phi_{31}\Delta s_{t-1} + \dots + \phi_{3L}\Delta s_{t-H} + \xi_t & \text{se } \sigma < \Delta s_t, \end{cases} \quad (2.12)$$

⁵Se um país tiver, por exemplo, um regime cambial de bandas fixas, o modelo de passeio aleatório não gera bons resultados ((CHAPPELL et al., 1996))

em que L, M, H são as defasagens máximas nos regimes inferior, intermediário e superior, respectivamente e e_t é um choque $i.i.d \sim (0, \sigma_\varepsilon)$.

O modelo (2.12) será estimado no próximo capítulo. Serão realizadas, também, simulações a partir dos resultados obtidos nesse capítulo para investigar o comportamento de longo-prazo das intervenções do BCB, considerando tanto impacto sobre o estoque de reservas quanto o estoque de *swaps*.

3 Dados e Resultados

3.1 Dados

Os dados utilizados no presente trabalho consideram o período entre 01/01/2009 e 30/09/2016 e foram coletados com a utilização da ferramenta *OHLC*¹ do terminal *Bloomberg* e por meio do Sistema Gerenciador de Séries Temporais (SGC) do BCB. Obteve-se o valor da taxa de câmbio R\$/US\$ a cada 5 minutos, totalizando 1905 dias², com 108 observações cada. Tal período foi escolhido por dois motivos: observou-se um grande acúmulo de reservas por parte do Banco Central entre janeiro de 2009 e julho de 2011, como evidenciado na **Figura 1**, e uma vez que compreendeu a instauração do programa diário de leilões de *swaps* do BCB³ entre agosto de 2013 e março de 2015, representando um período de significativas intervenções.

Figura 1 – Reservas Internacionais

Nota: Dados diários entre 01/01/2009 e 30/09/2016 para as reservas internacionais em critério de liquides.

Fonte: Banco Central do Brasil

¹Open, High, Low, Close – Abertura, Máxima, Mínima, Fechamento em inglês

²Dias sem transação foram desconsiderados.

³“Com o objetivo de prover “hedge” (proteção) cambial aos agentes econômicos e liquidez ao mercado de câmbio, o Banco Central do Brasil comunica que iniciará, a partir desta sexta-feira, 23/8, programa de leilões de swap cambial e de venda de dólares com compromisso de recompra. Esse programa se estenderá, pelo menos, até 31 de dezembro de 2013. Os leilões de swap ocorrerão todas as segundas, terças, quartas e quintas-feiras, quando serão ofertados US\$ 500 milhões por dia(...)” Nota da Assessoria de Imprensa do BCB (22/08/2013). <<http://www.casacivil.sp.gov.br/biblioteca-ccivil/noticias/MostraNoti.asp?par=2234>>

O gráfico da taxa de câmbio sugere um comportamento não estacionário da série, como pode-se notar na **Figura 2** abaixo.

Figura 2 – Taxa de Câmbio R\$/US\$

Nota: Dados intradiários entre 01/01/2009 e 30/09/2016 para a taxa de câmbio à vista. Perços a cada 5 minutos.

Fonte: Bloomberg

Por meio de um teste Dickey Fuller Aumentado (ADF) e considerando-se um termo constante e uma tendência temporal, não se rejeita a hipótese nula de não estacionaridade para a série como um todo, como mostra a **Tabela 1**.

Tabela 1 – Teste ADF de Raiz Unitária.

Dickey-Fuller Aumentado	
Série:	log(R\$/US\$)
Ha:	Estacionária
ADF =	-2,000
P-Valor =	0,5791
Dados intradiários entre 01/01/2009 a 30/09/2016.	
Preços a cada 5 minutos.	

Realizando o mesmo teste para cada dia separadamente, nota-se que não se pode rejeitar a hipótese de não estacionariedade em 1665 dos 1905 dias analisados, como mostra a **Tabela 2** abaixo.

Tabela 2 – Teste ADF de Raiz Unitária Para os Dados Intradiários

Dias que não se rejeita a hipótese de Raiz Unitária	1665
Dias que a hipótese de Raiz Unitária é Rejeitada	240

Nota: Preço a cada 5 minutos. Considera-se “Dias que não se rejeita a hipótese de Raiz Unitária” como aqueles em que o valor-P para o teste ADF foi acima de 0,1.

Como suposto na seção anterior, o fluxo de ordem de mercado apresenta uma estrutura ARCH e, buscando investigar tal hipótese, realiza-se um teste de Multiplicador de Lagrange (LM), de modo a verificar a presença de estrutura ARCH na taxa de câmbio. Pelo resultado ilustrado na **Tabela 3** abaixo, há evidências para se rejeitar a hipótese nula, levando a crer que existam evidências de heterocedasticidade condicional para a taxa de câmbio durante o período avaliado.

Tabela 3 – Teste LM de Estrutura ARCH.

Teste LM para Estrutura ARCH	
$\chi^2 =$	105.280
Defasagem=	12
Valor-P =	0,000
Dados intradiários entre 01/01/2009 a 30/09/2016.	
Preço a cada 5 minutos.	

Realizando novamente a análise para cada dia, observa-se a existência de evidências de estrutura ARCH para 1542 dos 1905 dias da amostra.

Tabela 4 – Teste LM de Estrutura ARCH dos Dados Intradiários

Dias que se rejeita a hipótese de ausência de estrutura ARCH	1542
Dias que a hipótese de ausência de estrutura ARCH não é Rejeitada	363

Nota: Preços a cada 5 minutos. Considera-se “Dias que se rejeita a hipótese de Ausência de Estrutura ARCH” como aqueles em que o valor-P para o teste LM foi menor de 0,1.

Como também apresentado na seção anterior, espera-se modelar o comportamento da taxa de câmbio proposto pelo modelo por meio de uma formulação SETAR de 3 regimes. Buscando sustentar a escolha dessa formulação, realizou-se um teste de não-linearidade, conforme proposto por Hansen (1999). Nota-se que a hipótese nula de linearidade na série é rejeitada a um nível de significância de 10% frente a um SETAR(3), como ilustra a **Tabela 5** abaixo, de modo que existem evidências que apontam na direção de um comportamento não linear para a série da taxa de câmbio.

Tabela 5 – Teste de Linearidade da Amostra

Teste de Linearidade de Hansen	
Ha:	SETAR(3)
Valor-P:	0,1

Nota: Teste de não linearidade para a amostra inteira entre 01/01/2009 e 30/09/2016

Esta seção apresenta resultados que apotam, portanto, que as hipóteses feitas no capítulo anterior, acerca do comportamento da série da taxa de câmbio, têm certa aderência aos dados. Sendo assim, espera-se que a estimação do modelo SETAR, a ser realizada na próxima seção, esteja alinhada com as ideias formuladas no modelo teórico do capítulo 2.

3.2 Estimação do Modelo SETAR e Interpretações.

Como demonstrado na seção anterior, os dados de 01/01/2009 a 30/09/2016 aparentam corroborar com as hipóteses feitas para a elaboração do modelo estilizado do comportamento do BCB. Dessa forma, estima-se um modelo SETAR com Δs_t como a variável que define o regime, utilizando um período como defasagem máxima nos regimes⁴. A presente seção difere-se do trabalho de Simonassi, Silva e Arraes (2012), ao considerar três possíveis regimes e utilizar uma base intradiária para a taxa de câmbio.

⁴Laurini, Furlani e Portugal (2008) apontam que as propriedades markovianas da série de ativos podem ser afetadas ao considerar modelos de microestrutura com conjuntos de informações diferentes. No entanto, procede-se com a estimação do modelo SETAR com apenas uma defasagem, pois o algoritmo de Antonio et al. (2009) e Stigler (2010), aqui utilizado, limita o número de defasagens em no máximo o número de regimes adotados

Como indicam os resultados apresentados na **Tabela 6**, a mediana do coeficiente do regime central, representado por ϕ_{21} aparenta ser maior do que os coeficientes dos regimes externos (ϕ_{11} e ϕ_{31}) em valores absolutos, resultado que se repete ao se considerar o 1º e 3º quartis.

Tabela 6 – Modelo SETAR por Dia

	ϕ_{11}	ϕ_{21}	ϕ_{31}
Mínimo	-3,500	-16,290	-2,680
P(25)	-0,371	-1,844	-0,427
Mediana	-0,060	-0,167	-0,109
Média	-0,091	-0,073	-0,121
P(75)	0,219	1,507	0,190
Máximo	2,107	21,63	1,899

Nota: Dados Intradiários da Taxa de Câmbio
R\$/US\$. Preço a cada 5 Minutos.

Fonte: Elaboração Própria

Considerando-se tais parâmetros, os resultados apresentados na **Tabela 7** aparentam sinalizar que, no regime interno, a série reverte à média mais lentamente do que nos regimes externos, sugerindo que o comportamento do BCB se pareça com o suposto pelo modelo desenvolvido anteriormente, no qual a mudança de regime representaria a tolerância da autoridade monetária frente ao intervalo de variação da moeda.

Outro resultado importante da estimação do modelo acima é uma aproximação para o valor da volatilidade adequada (ou ótima) do BCB. Obtido a partir do intervalo dos valores estimados do limiar superior e o limiar inferior diários, tem-se que a dispersão diária média adequada para o BCB é de 2,3%. O seja, a partir do momento que a taxa de câmbio atinge tal variação, a gerência do BCB tenderia a tomar alguma posição com o objetivo de conter o aumento da volatilidade. A **Tabela 7** apresenta as estatísticas descritivas de $\hat{\sigma}^2$.

Tabela 7 – Estimativa da Volatilidade Adequada do BCB.

	$\hat{\sigma}^2$
Mínimo	0,7%
P(25)	1,74%
Mediana	2,19%
Média	2,29%
P(75)	2,72%
Máximo	5,75%

Nota: Dados Intradiários da Taxa de Câmbio
R\$/US\$. Preço a cada 5 Minutos.

Fonte: Elaboração Própria

A partir dos dados avaliados nessa seção, tem-se, portanto, que a estrutura proposta para o problema do BCB no capítulo 2 parece possuir certa aderência ao período de dados coletados, no sentido de haver evidências, por meio dos testes empregados, de uma característica não estacionária, com potencial heteroscedasticidade condicional do termo de erro. Ademais, as evidências apontam na direção de uma estrutura não linear da taxa de câmbio, o que poderia ser explicado por potenciais intervenções do BCB no intuito de conter excesso de volatilidade da taxa de câmbio.

A próxima seção irá explorar por meio de simulações o processo de tomada de decisão por parte do BCB, utilizando valores calibrados para os parâmetros do modelo. Além de avaliar por uma abordagem alternativa o problema proposto, as simulações permitem, também, avaliar se o acúmulo observado de reservas por parte do BCB no período entre 2009 a 2011 está em linha com o objetivo de contenção do excesso de volatilidade da taxa de câmbio, bem como a política de intervenções diárias via *swap* entre 2013 e 2015.

3.3 Simulação do Modelo Teórico

Para as simulações, os parâmetros foram calibrados conforme achados da literatura, buscando-se, também, alguma proximidade à realidade do período aqui estudado. No caso do coeficiente de resposta da taxa de câmbio ao fluxo de ordem (β), optou-se por adotar os valores estimados por Ventura e Garcia (2012) e, de forma conservadora, assumir o mesmo valor para o coeficiente de intervenção do BCB (θ). Como será mostrado adiante, estuda-se, também, casos nos quais $\beta \neq \theta$ com o objetivo de avaliar a sensibilidade dos resultados.

O valor da volatilidade adequada permitida pelo BCB foi obtida considerando o modelo SETAR estimado na seção 3.2, correspondendo à maior volatilidade que o BCB aceitaria que ocorresse no mercado antes de adotar qualquer posição de intervenção. Ao se estimar SETAR diários, obtém-se também as séries dos dois limiares considerados no modelo, a partir dos quais pode-se ter uma possível estimativa para σ^2 . Um possível valor para $\hat{\sigma}^2$ seria a média da amostra de intervalos gerados entre o limiar inferior e o limiar superior, conforme ilustra a **Tabela 7**.

Define-se como 973 o número de dias simulados, uma vez que é aproximadamente o período em que se registrou o acúmulo expressivo de reservas entre 2009 e 2011, de cerca de US\$150 bilhões.

Para a calibração dos parâmetros ARCH, foram escolhidos valores para α_0 e α_1 que gerassem uma quantidade de dias em que ocorre algum tipo de intervenção na mesma proporções daquela registrada por Kohlscheen (2012), sem a predominância de uma direção. Ou seja, definiu-se os parâmetros de forma que aproximadamente 53% dos 973 dias simulados tivessem a presença do BCB intervindo para conter o excesso de volatilidade.

A **Tabela 8** apresenta os parâmetros para a estrutura ARCH que serão utilizados nas simula-

ções.

Tabela 8 – Parâmetros para estrutura ARCH(1)

Modelo ARCH	
α_0	6,00
α_1	0,50
Média do Processo	0,00

Nota: Parâmetros para gerar amostras de fluxo de ordem do mercado.

Os parâmetros foram escolhidos de forma que, em média, 53% dos dias ocorresse alguma intervenção do BCB.

Fonte: Elaboração Própria

Com esses parâmetros, é equivalente dizer que o fluxo de ordem do mercado possui média zero e, no entorno dessa média, o desvio padrão⁵ é de US\$ 3,46 bilhões em fluxo de ordem.

A realização⁶ das simulações segue-se, então, da seguinte forma:

1. Inicialmente, gera-se uma série simulada de 973 observações do fluxo de ordem do mercado (η_t), com base nos parâmetros do modelo ARCH(1).
2. À partir dessa série e utilizando-se do parâmetro de impacto do fluxo de ordem sobre a taxa de câmbio (β), simula-se a variação esperada da taxa de câmbio, bem como a volatilidade naquele momento, medida por Δs_t^2 .
3. Com o resultado esperado para o mercado de câmbio avalia-se a reação do BCB de intervir ou não, com base nos casos elencados na seção 2.3 e tendo observado o fluxo de ordem do mercado.
4. Com o resultado das intervenções individuais, calcula-se o volume de reserva potencialmente acumulado em um determinado período, bem como uma comparação entre o retorno da moeda caso houvesse intervenção e o retorno caso não houvesse intervenção do BCB.
5. Os procedimentos de (1) a (4) são repetidos 1000 vezes, com o objetivo de se obter a distribuição do resultado de acumulação das intervenções e dos retornos com e sem a intervenção do BCB.

A primeira simulação a ser realizada é do cenário considerado como base, em que os parâmetros seguem conforme a **Tabela 9** abaixo:

No cenário base, $\gamma = 0$ seria análogo a dizer que a taxa de câmbio não possui qualquer tendência de longo prazo, de forma que a mesma seria considerada como um passeio aleatório

⁵O desvio padrão é calculado por meio da fórmula $\sqrt{\frac{\alpha_0}{1-\alpha_1}} = \sqrt{\frac{6}{1-0,5}} = 3,46$

⁶O código em R utilizado para as simulações encontra-se no Anexo 1 da presente dissertação.

Tabela 9 – Parâmetros para Simulação do Cenário Base ($\gamma = 0$)

Parâmetro	Valor
γ	0,00
α_0	6,00
α_1	0,50
$\hat{\sigma}^2$	0,02
β	0,01
θ	0,01

Parâmetros para simulação do caso básico.

Os valores de β e θ foram calibrados conforme (VENTURA; GARCIA, 2012).

Os valores para estrutura ARCH foram calibrados de forma a gerar 53% dos dias com intervenção do BCB.

O valor de $\hat{\sigma}^2$ é calibrado conforme o modelo SETAR da seção 3.2.

Fonte: Elaboração Própria

sem *drift*, uma vez que a série de fluxo de ordem possui média zero e uma dada variância incondicional. Os resultados da simulação estão sumarizados na **Figura 3**.

Figura 3 – Resultado da Simulação para o Cenário Base ($\gamma = 0$)

Nota: o **Gráfico 3a** apresenta a distribuição do acúmulo de reserva do BCB. O **Gráfico 3b** apresenta a distribuição do sentido das intervenções. Para a construção dessa variável atribuiu-se o valor 1 se a intervenção foi no sentido de compra de divisas, -1 se a intervenção foi no sentido de venda e 0 caso não houve intervenção.. O **Gráfico 3c** apresenta um comparativo entre a taxa de câmbio caso não houvesse a atuação do BCB e a taxa de câmbio com o controle da volatilidade do BCB.

Fonte: Elaboração Própria

Nota-se que quando não há tendência de longo prazo na taxa de câmbio, o acúmulo de reservas tem média próxima à zero. Nota-se, também, que não há predominância de um sentido para as intervenções, como ilustra a **Figura 3b**. Por fim, nota-se que as intervenções afetam o retorno da taxa de câmbio reduzindo o peso das caudas da distribuição.

Como apresentado na revisão da literatura, o canal de sinalização é relevante no estudo da política de intervenção. Na presente dissertação, tal canal é incorporado no modelo teórico proposto ao considerar que as intervenções possuem impacto análogo ao de um fluxo de ordem no mercado de câmbio e seu impacto é dimensionado pelo parâmetro θ . Dessa forma, com o objetivo de se explorar tal variável, propõe-se a simulação de cenários alternativos para o valor de θ , utilizando o cenário básico em que $\theta = \beta$ e explorando o cenário em que $\theta < \beta$ e o cenário

$\theta > \beta$. Adicionalmente, simulam-se cenários em que há *drift*, conforme abaixo.

Caso $\theta = \beta$ e $\gamma < 0$:

Quando assume-se $\theta = \beta$ seria equivalente a dizer que o fluxo de ordem do BCB teria uma mesma carga informacional que o fluxo de ordem de mercado. Ou seja, quando a autoridade monetária percebe que o mercado desvia-se do que ela acredita ser o ótimo, o fluxo de ordem de escolha seria aquele de magnitude simétrica àquele do mercado, mas no sentido inverso.

No caso em que $\gamma < 0$ ⁷, a moeda possui uma tendência de apreciação de longo prazo. Nesse caso, mesmo que o fluxo de ordem resultante no dia seja nulo, a moeda teria ainda algum fator que a faria apreciar no dia. Sendo assim, esperar-se-ia que o BCB atuaria com maior frequência no mercado com a predominância de um sentido, uma vez que a probabilidade da taxa de câmbio superar a volatilidade ótima pelo limite inferior seria maior.

Se a frequência de intervenção for maior em um determinado sentido, então espera-se-ia um acúmulo ou uma diminuição de reservas, a depender da tendência de longo prazo. Nesse caso, como a tendência é de apreciação da moeda, o BCB tenderia a comprar com mais frequência moeda estrangeira, gerando mais fluxos de compra do que de venda, acumulando reservas.

Esse caso é ilustrado na **Figura 4** em que $\gamma = -0,0005$. Ou seja, se o fluxo de ordem for nulo no dia, a moeda ainda sim apreciaria 0,05% no dia. Gerando ao longo dos 973 dias uma apreciação esperada de $973 \cdot 0,05\% = 48,6\%$.

Nota-se que nessas condições, a média da quantidade de intervenções com sentido de compra é maior do que no cenário base, bem como o a média do acúmulo de reservas. Nesse caso, o acúmulo médio de reservas seria de US\$ 26 bilhões. No que tange ao retorno da taxa de câmbio, nota-se que o impacto sobre a distribuição é análogo ao registrado no caso base. No entanto, vale destacar que, caso o BCB não intervesse nesse mercado, a apreciação esperada para a moeda no período seria de 49,1%, enquanto a apreciação com a atuação do BCB é de 22,6%.

A **Tabela 10** adiante apresenta as diferentes alternativas de γ testadas nesse trabalho. Nota-se que quanto maior a tendência de longo prazo, mais expressivo será o acúmulo de reseras.

Caso $\theta < \beta$ e $\gamma < 0$:

Assumir que $\theta < \beta$ implica em assumir que o BCB possui alguma limitação para afetar a taxa de câmbio, dado que o canal de sinalização seria mais fraco do que o conteúdo informacional do mercado. Sendo assim, a autoridade monetária precisaria gerar um fluxo de ordem maior do que no caso $\theta = \beta$ para afetar na mesma magnitude a moeda.

⁷Apresenta-se apenas os resultados das simulações com $\gamma < 0$, uma vez que para $\gamma > 0$ os resultados são simétricos.

Figura 4 – Resultado da Simulação para o Cenário $\theta = \beta$ ($\gamma = -0,0005$)

Nota: o **Gráfico 4a** apresenta a distribuição do acúmulo de reserva do BCB. O **Gráfico 4b** apresenta a distribuição do sentido das intervenções. Para a construção dessa variável atribuição o valor 1 se a intervenção foi no sentido de compra de divisas, -1 se a intervenção foi no sentido de venda e 0 caso não houve intervenção.. O **Gráfico 4c** apresenta um comparativo entre a taxa de câmbio caso não houvesse a atuação do BCB e a taxa de câmbio com o controle da volatilidade do BCB.

Fonte: Elaboração Própria

Espera-se, portanto que, se o BCB precisa intervir em maiores quantidades para gerar um determinado impacto na moeda, o acúmulo de reservas deveria ser maior, também.

Avaliando, novamente o caso para que $\gamma = -0,0005$ e assumindo que o impacto do fluxo de ordem do BCB tem uma magnitude equivalente a 80% do fluxo de ordem de mercado ($\beta = 0,01$ e $\theta = 0,008$) tem-se os resultados sumarizados na **Figura 5**.

Nesse caso, o acúmulo esperado de reservas é de US\$ 36 bilhões com, novamente, a maioria das intervenções ocorrendo no sentido de fluxo de compra. Tal política afeta a distribuição do retorno da moeda da mesma forma que no caso anterior, de forma que a apreciação esperada sem a atuação do BCB seria de 44,89%, mas com a presença da autoridade monetária no mercado a moeda teria uma apreciação média de 22,83%.

Figura 5 – Resultado da Simulação para o Cenário $\theta < \beta$ ($\gamma = -0,0005$)

Nota: o **Gráfico 5a** apresenta a distribuição do acúmulo de reserva do BCB. O **Gráfico 5b** apresenta a distribuição do sentido das intervenções. Para a construção dessa variável atribuiu-se o valor 1 se a intervenção foi no sentido de compra de divisas, -1 se a intervenção foi no sentido de venda e 0 caso não houve intervenção. O **Gráfico 5c** apresenta um comparativo entre a taxa de câmbio caso não houvesse a atuação do BCB e a taxa de câmbio com o controle da volatilidade do BCB.

Fonte: Elaboração Própria

Caso $\theta > \beta$ e $\gamma < 0$:

O próximo cenário seria considerar que o BCB, ao conter as informações a respeito do mercado de forma mais simétrica que os demais agentes, teria a capacidade de transferir uma mesma carga informacional, gerando um fluxo de ordem menor do que nos demais casos citados anteriormente. Ou seja, assumir que $\theta > \beta$ implicaria assumir que o canal de sinalização é mais significativo para a política de intervenção, de forma que o BCB é mais eficiente ao sinalizar a direção de suas políticas.

Considerando $\gamma = -0,0005$, $\theta = 0,01$ e $\beta = 0,008$, de forma que o impacto do fluxo de ordem de mercado seja equivalente a 80% do impacto do fluxo de ordem do BCB, os resultados seguem conforme a **Figura 6**.

Figura 6 – Resultado da Simulação para o Cenário $\theta > \beta$ ($\gamma = -0,0005$)

Nota: o **Gráfico 6a** apresenta a distribuição do acúmulo de reserva do BCB. O **Gráfico 6b** apresenta a distribuição do sentido das intervenções. Para a construção dessa variável atribuiu-se o valor 1 se a intervenção foi no sentido de compra de divisas, -1 se a intervenção foi no sentido de venda e 0 caso não houve intervenção.. O **Gráfico 6c** apresenta um comparativo entre a taxa de câmbio caso não houvesse a atuação do BCB e a taxa de câmbio com o controle da volatilidade do BCB.

Fonte: Elaboração Própria

Nesse caso, o acúmulo médio de reserva é de US\$22 bilhões. Os demais impactos são análogos aos casos anteriores, destacando-se que na ausência de atuação do BCB a moeda teria uma apreciação esperada de 51,29%, enquanto que com a atuação do BCB a mesma teria uma apreciação média de 29,3%.

Como anteriormente colocado, no período entre janeiro de 2009 e julho de 2011, o BCB acumulou um estoque de reservas no montante de aproximadamente US\$150 bilhões e a moeda se apreciou em, aproximadamente 22%. Nota-se, portanto, que os resultados das simulações apontam para o mesmo sentido do que o registrado nos dados reais, no entanto, o acúmulo observado foi mais expressivo do que o obtido nas simulações.

Uma possível explicação para tal divergência seria que, durante esse período, o mercado já previa uma apreciação diária da moeda na magnitude de γ , de forma que para o BCB sinalizar

algum sentido diferente de movimentação do câmbio precisaria fazer intervenções de maiores magnitudes. Ou seja, pode-se conjecturar que o caso que mais se aproximaria da realidade do período seria o de $\beta > \theta$.

Outra possível justificativa seria que a tendência de apreciação da moeda era, na realidade, maior do que os parâmetros definidos nas simulações e as intervenções do BCB não só buscavam reduzir a volatilidade como também absorver parte de tal tendência. Isso também acarretaria intervenções de maiores magnitudes.

Para o período de “ração diária” que se estende de agosto de 2013 à abril de 2015, segundo informado pelo então presidente do BCB, Alexandre Tombini, na Comissão de Assuntos Econômicos do Senado Federal em 24 de março de 2015, o total de contratos de swap utilizando totalizou US\$115 bilhões.

Nesse período, a moeda depreciou aproximadamente 35%, o que, segundo o modelo teórico aqui apresentado, sugere que o BCB interviria gerando fluxos de venda significativos. Como o período foi marcado pela intervenção na forma de *swaps*, isso implicaria em um acúmulo expressivo de contratos tradicionais de *swaps*.

Novamente, o modelo aponta no mesmo sentido de intervenção daquele registrado, porém com um acúmulo esperado de estoque de *swaps* menor. As justificativas para isso são análogas às aquelas descritas acima. Nesse período, o país passava por um período de incerteza econômica o que poderia reduzir o impacto do canal de sinalização, exigindo que o BCB intervisse de forma mais intensa para conter a volatilidade.

Tabela 10 – Resultados das Simulações

γ	α_0	α_1	Variância Incondicional de η	β	θ	Dias	σ	Acumulo Médio de Reservas	Média de Dias de Intervenções	Variação Média na Taxa de Câmbio Sem Atuação do BCB	Variação Média na Taxa de Câmbio Com Atuação do BCB
-0,00035	6	0,5	12	0,01	0,01	973	0,02	US\$17,2 bilhões	500	-33,96%	-16,73%
-0,0004	6	0,5	12	0,01	0,01	973	0,02	US\$22 bilhões	500	-40,06%	-18,19%
-0,00045	6	0,5	12	0,01	0,01	973	0,02	US\$22,4 bilhões	500	-40,64%	-18,23%
-0,0005	6	0,5	12	0,01	0,01	973	0,02	US\$26 bilhões	499	-49,11%	-22,66%
-0,00035	6	0,5	12	0,01	0,008	973	0,02	US\$19 bilhões	500	-30,24%	-15,03%
-0,0004	6	0,5	12	0,01	0,008	973	0,02	US\$21,3 bilhões	500	-35,39%	-18,30%
-0,00045	6	0,5	12	0,01	0,008	973	0,02	US\$31 bilhões	500	-47,53%	-22,65%
-0,0005	6	0,5	12	0,01	0,008	973	0,02	US\$36 bilhões	501	-44,89%	-22,83%
-0,00035	6	0,5	12	0,008	0,01	973	0,02	US\$15 bilhões	405	-35,20%	-20,26%
-0,0004	6	0,5	12	0,008	0,01	973	0,02	US\$16,6 bilhões	407	-39,05%	-22,46%
-0,00045	6	0,5	12	0,008	0,01	973	0,02	US\$15,5 bilhões	405	-41,53%	-26,06%
-0,0005	6	0,5	12	0,008	0,01	973	0,02	US\$22 bilhões	405	-51,29%	-29,30%

Nota: Resultados das simulações para diferentes combinações de parâmetros.
Fonte:Elaboração própria

4 Considerações Finais

A presente dissertação contribui para a literatura de Macroeconomia Internacional ao propor um modelo teórico de resposta do BCB a momentos de volatilidade elevada da taxa de câmbio. Até o momento da elaboração desta dissertação, não foram observados trabalhos que tratassem do problema de intervenções da forma como foi aqui apresentada. Observa-se a característica de não linearidade da taxa de câmbio, assim como feito por Simonassi, Silva e Arraes (2012), Reitz e Taylor (2008) e Kohlscheen (2012) e expande-se a análise empírica feita por Simonassi, Silva e Arraes (2012) ao incorporar uma estrutura análoga na função de resposta do BCB a situações de volatilidade do mercado de câmbio.

De forma similar ao conjunto dos artigos que investigam o tema, reconhece-se o papel do canal de sinalização para a eficácia das intervenções, incorporando também o papel do fluxo de ordem como o agregador e transmissor de informações de agentes do mercado, bem como da autoridade monetária.

Observa-se, por meio de resultados simulados, que o modelo proposto para o comportamento do BCB aparenta gerar resultados coerentes com situações de mercado, de forma que intervenções só ocorreriam visando conter momentos de volatilidade acima do desejado. Nota-se, também, que tendências de maior prazo para a taxa de câmbio influenciam o sentido das intervenções de forma significativa, de forma que períodos de constantes variações positivas da taxa de câmbio levariam a constantes intervenções, que se assimilariam a posições de venda no mercado iniciadas pelo BCB. Analogamente, momentos de apreciações constantes da moeda levariam à tomada de posições de compra constantes por parte da autoridade monetária, caso esta visasse conter o excesso de volatilidade do câmbio.

No caso brasileiro, portanto, o acúmulo de reservas observado durante o período analisado, ocorreria, do ponto de vista probabilístico, de acordo com o modelo desenvolvido, por conta de uma tendência de longo prazo, do contrário, as consecutivas posições de compra adotadas pelo BCB surtiriam um efeito sobre a taxa de câmbio que não é justificado por uma política de contenção da volatilidade.

Referências

Antonio et al. *tsDyn: Time series analysis based on dynamical systems theory*. [S.l.], 2009. R package version 0.7. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/tsDyn/vignettes/tsDyn.pdf>>.

ARAÚJO, J. d.; GOLDFAJN, I. Suavizando movimentos da taxa de câmbio ou adicionando volatilidade? um estudo empírico sobre intervenções do banco central no mercado de câmbio. *Rio de Janeiro*, v. 67, 2004.

BACCHETTA, P.; WINCOOP, E. V. Can information heterogeneity explain the exchange rate determination puzzle? *The American Economic Review*, American Economic Association, v. 96, n. 3, p. 552–576, 2006.

BAILLIE, R. T.; OSTERBERG, W. P. Why do central banks intervene? *Journal of International Money and Finance*, Elsevier, v. 16, n. 6, p. 909–919, 1997.

BARROSO, J. R. B. Realized volatility as an instrument to official intervention. *Banco Central do Brasil Working Paper Series*, v. 363, 2014.

BASTOS, E. K. X.; FONTES, P. V. d. S. Mercado de câmbio brasileiro, intervenções do banco central e controles de capitais de 1999 a 2012. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2014.

BORDO, M. D. Gold standard. the concise encyclopedia of economics. *Library of Economics and Liberty*, 2008.

BROOKS, C. A double-threshold garch model for the french franc/deutschmark exchange rate. *Journal of Forecasting*, Wiley, v. 20, n. 2, p. 135–143, 2001.

CALVO, G. A.; REINHART, C. M. Fear of floating. *The Quarterly Journal of Economics*, MIT Press, v. 117, n. 2, p. 379–408, 2002.

CHAMON, M.; GARCIA, M.; SOUZA, L. Fx interventions in brazil: a synthetic control approach. *Journal of International Economics*, Elsevier, 2017.

CHAPPELL, D. et al. A threshold model for the french franc/deutschmark exchange rate. *Journal of Forecasting*, Wiley Online Library, v. 15, n. 3, p. 155–164, 1996.

DOMINGUEZ, K. M. Market responses to coordinated central bank intervention. In: ELSEVIER. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*. [S.l.], 1990. v. 32, p. 121–163.

DOMINGUEZ, K. M. When do central bank interventions influence intra-daily and longer-term exchange rate movements? *Journal of International Money and Finance*, Elsevier, v. 25, n. 7, p. 1051–1071, 2006.

DOMINGUEZ, K. M.; FRANKEL, J. A. Does foreign-exchange intervention matter? the portfolio effect. *The American Economic Review*, JSTOR, v. 83, n. 5, p. 1356–1369, 1993.

- EDISON, H. J. *The effectiveness of central-bank intervention: a survey of the literature after 1982*. [S.l.]: International Finance Section, Department of Economics, Princeton University, 1993. v. 18.
- EVANS, M. D. *Exchange-rate dynamics*. [S.l.]: Princeton University Press, 2011.
- EVANS, M. D.; LYONS, R. K. Order flow and exchange rate dynamics. *Journal of Political Economy*, v. 110, n. 1, p. 170–180, 2002.
- FMI. *De Facto Classification of Exchange Rate Regimes and Monetary Policy Framework*. [S.l.], 2006.
- HANSEN, B. Testing for linearity. *Journal of Economic Surveys*, Wiley Online Library, v. 13, n. 5, p. 551–576, 1999.
- HUMPAGE, O. F. On the effectiveness of exchange market intervention. *Federal Reserve Bank of Cleveland, mimeo*, 1989.
- HUMPAGE, O. F. Central-bank intervention: recent literature, continuing controversy. *Economic Review-Federal Reserve Bank of Cleveland*, Federal Reserve Bank of Cleveland, v. 27, n. 2, p. 12, 1991.
- HUNG, J. H. Intervention strategies and exchange rate volatility: a noise trading perspective. *Journal of International Money and Finance*, Elsevier, v. 16, n. 5, p. 779–793, 1997.
- KARACADAG, M. C.; GUIMARÃES, R. P. *The empirics of foreign exchange intervention in emerging markets: the cases of Mexico and Turkey*. [S.l.]: International Monetary Fund, 2004.
- KOHLSCHEEN, E. Order flow and the real: indirect evidence of the effectiveness of sterilized interventions. 2012.
- KROHN, I.; MOORE, M. Interdealer information in an augmented taylor rule-a new hybrid approach to analyze exchange rates. *mimeo*, 2018.
- KYDLAND, F. E.; PRESCOTT, E. C. Rules rather than discretion: The inconsistency of optimal plans. *The Journal of Political Economy*, v. 85, n. 3, p. 473–492, 1977.
- LAURINI, M. P.; FURLANI, L. G. C.; PORTUGAL, M. S. Empirical market microstructure: An analysis of the brl/usd exchange rate market. *Emerging Markets Review*, Elsevier, v. 9, n. 4, p. 247–265, 2008.
- LÁZARO, F. Câmbio contratado, fluxo de ordem e taxa de câmbio no brasil. 2017.
- MARÇAL, E.; JÚNIOR, E. H. Is it possible to beat the random walk model in exchange rate forecasting? more evidence for brazilian case. 2015.
- MEESE, R. A.; ROGOFF, K. Empirical exchange rate models of the seventies: Do they fit out of sample? *Journal of international economics*, Elsevier, v. 14, n. 1-2, p. 3–24, 1983.
- MUSSA, M. *The role of official intervention*. [S.l.]: Group of Thirty New York, 1981.
- OLIVEIRA, F. N. d.; PLAGA, A. Eficácia das intervenções do banco central do brasil sobre a volatilidade condicional da taxa de câmbio nominal. *Revista brasileira de economia*, SciELO Brasil, v. 65, n. 1, p. 71–92, 2011.

- REINHART, C. M. The mirage of floating exchange rates. *The American Economic Review*, JSTOR, v. 90, n. 2, p. 65–70, 2000.
- REITZ, S.; TAYLOR, M. P. The coordination channel of foreign exchange intervention: a nonlinear microstructural analysis. *European Economic Review*, Elsevier, v. 52, n. 1, p. 55–76, 2008.
- ROGOFF, K.; OBSTFELD, M. *The six major puzzles in international macroeconomics: is there a common cause?* [S.l.]: National Bureau of Economic Research, 2000.
- ROSSI, B. Exchange rate predictability. *Journal of economic literature*, v. 51, n. 4, p. 1063–1119, 2013.
- ROSSI, P. Política cambial no brasil: um esquema analítico. *Revista de Economia Política*, v. 35, n. 4 (141), p. 707–728, 2015.
- SIMONASSI, A. G.; SILVA, J. H. F.; ARRAES, R. A. Dinâmica da taxa de câmbio no brasil sob o regime de câmbio flutuante. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, v. 42, n. 2, 2012.
- STIGLER, M. *Threshold cointegration: overview and implementation in R*. [S.l.], 2010. R package version 0.7-2. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/tsDyn/vignettes/ThCointOverview.pdf>>.
- TAYLOR, J. B. A historical analysis of monetary policy rules. In: *Monetary policy rules*. [S.l.]: University of Chicago Press, 1999. p. 319–348.
- TONG, H.; LIM, K. S. Threshold autoregression, limit cycles and cyclical data. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, JSTOR, p. 245–292, 1980.
- TRYON, R. W. et al. *Small empirical models of exchange market intervention: A review of the literature*. [S.l.], 1983.
- VELLA, F. A simple estimator for simultaneous models with censored endogenous regressors. *International Economic Review*, JSTOR, p. 441–457, 1993.
- VENTURA, A.; GARCIA, M. Mercados futuro e à vista de câmbio no brasil: O rabo balança o cachorro. *Revista Brasileira de Economia*, v. 66, n. 1, p. 21–48, 2012. ISSN 0034-7140. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbe/article/view/1907>>.
- VITALE, P. The impact of fx intervention on fx markets: A market microstructure analysis. *International Journal of Finance & Economics*, Wiley Online Library, v. 16, n. 1, p. 41–62, 2008.

Anexo 1 - Simulação

```

rm(list=ls())
library("fGarch")
library(ggplot2)
library(reshape2)
#Definindo os parametros
gamma<- 0.000
beta<-.01
sc<-1
theta<-sc*beta
alpha0<-6
alpha1<-0.5
dias <- 973
specs<-garchSpec(model = list(omega=alpha0 , alpha=alpha1 , beta=0))
sigma<-0.02
sims<-1000
d_bc<-0
d_2<-0

#criando vetor para armazenar infos
acumul<-c()
dsacum<-c()
dsbcacum<-c()
interv<-c()
intervsig<-c()
diasinterv<-c()
dist_ret<-c()
d_s_bc<-c()
d_s2<-c()
ret<-c()
retbc<-c()

#simulando
a<-1
for (i in 1:sims) {
print(a)

```

```

n<-garchSim( specs ,n=dias )
signal<-0
interviu<-0

for (j in 1:dias){

eps<-beta*n[j]
d_s<-gamma + eps

if (d_s^2>sigma^2) {
if (d_s>0){
int<- -(gamma+beta*n[j]-sigma)/theta
ds2<-gamma+beta*n[j]
dsbc<-gamma+beta*n[j]+theta*int
signal<-signal-1
interviu<-interviu+1
}
else {
int<- -(gamma+beta*n[j]+sigma)/theta
ds2<-gamma+beta*n[j]
dsbc<-gamma+beta*n[j]+theta*int
signal<-signal+1
interviu<-interviu+1
}
}
else {
int<-0
ds2<-gamma+beta*n[j]
dsbc<-gamma+beta*n[j]+theta*int
signal<-signal+0
}

interv<-c(interv ,int)
d_s2<-c(d_s2 ,ds2)
d_s_bc<-c(d_s_bc ,dsbc)
}

acumul<-c(acumul ,sum(interv))
dsacum<-c(dsacum ,sum(d_s2))

```

```
dsbcacum<-c(dsbcacum,sum(d_s_bc))
intervsig<-c(intervsig,sigal)
diasinterv<-c(diasinterv,interviu)
a<-a+1
}
```


Anexo 2 - Extração de dados do FTP BM&F Bovespa

```
dolj16<-ghfd_get_HF_data(my.assets = "DOLJ16",
type.market = "BMF",
first.date = "2016-03-01",
last.date = "2016-03-31",
first.time = "10:00:00",
last.time = "18:00:00",
type.output = "raw",
clean.files = TRUE
)
dolk16<-ghfd_get_HF_data(my.assets = "DOLK16",
type.market = "BMF",
first.date = "2016-04-01",
last.date = "2016-04-30",
first.time = "10:00:00",
last.time = "18:00:00",
type.output = "raw",
clean.files = TRUE
)
dolm16<-ghfd_get_HF_data(my.assets = "DOLM16",
type.market = "BMF",
first.date = "2016-05-01",
last.date = "2016-05-31",
first.time = "10:00:00",
last.time = "18:00:00",
type.output = "raw",
clean.files = TRUE
)
doln16<-ghfd_get_HF_data(my.assets = "DOLN16",
type.market = "BMF",
first.date = "2016-06-01",
last.date = "2016-06-30",
first.time = "10:00:00",
```

```
last.time = "18:00:00",
type.output = "raw",
clean.files = TRUE
)
dolq16<-ghfd_get_HF_data(my.assets = "DOLQ16",
type.market = "BMF",
first.date = "2016-07-01",
last.date = "2016-07-31",
first.time = "10:00:00",
last.time = "18:00:00",
type.output = "raw",
clean.files = TRUE
)
dolu16<-ghfd_get_HF_data(my.assets = "DOLU16",
type.market = "BMF",
first.date = "2016-08-01",
last.date = "2016-08-31",
first.time = "10:00:00",
last.time = "18:00:00",
type.output = "raw",
clean.files = TRUE
)
dolv16<-ghfd_get_HF_data(my.assets = "DOLV16",
type.market = "BMF",
first.date = "2016-09-01",
last.date = "2016-09-30",
first.time = "10:00:00",
last.time = "18:00:00",
type.output = "raw",
clean.files = TRUE
)
dolx16<-ghfd_get_HF_data(my.assets = "DOLX16",
type.market = "BMF",
first.date = "2016-10-01",
last.date = "2016-10-31",
first.time = "10:00:00",
last.time = "18:00:00",
type.output = "raw",
clean.files = TRUE
```

```
)  
dolz16<-ghfd_get_HF_data(my.assets = "DOLZ16",  
type.market = "BMF",  
first.date = "2016-11-01",  
last.date = "2016-11-30",  
first.time = "10:00:00",  
last.time = "18:00:00",  
type.output = "raw",  
clean.files = TRUE  
)  
dolf17<-ghfd_get_HF_data(my.assets = "DOLF17",  
type.market = "BMF",  
first.date = "2016-12-01",  
last.date = "2016-12-31",  
first.time = "10:00:00",  
last.time = "18:00:00",  
type.output = "raw",  
clean.files = TRUE  
)  
completo<-rbind(dolj16 ,dolk16 ,dolm16 ,doln16 ,dolq16 ,dolu16 ,dolv16 ,dolx16  
complet0$f<-complet$TradedQuantity*50000*complet$TradeSign  
dias <- sqldf("select distinct SessionDate from completo")  
dias<-dias$SessionDate  
of<-c()  
j<-1  
for (i in dias) {  
  print(j)  
  statement <- paste("select f from completo where SessionDate =",  
base<-sqldf(statement)  
of<-c(of, sum(base$f))  
j<-j+1  
}  
of<-ts(of/1e9)
```