



UnB

Universidade de Brasília

Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

Departamento de Economia

Pedro Feitosa de Lucena

**DIAGNÓSTICO DE MEMÓRIA DE LONGO PRAZO NA TAXA
DE CÂMBIO R\$/US\$**

Brasília, DF

2013

Pedro Feitosa de Lucena

**DIAGNÓSTICO DE MEMÓRIA DE LONGO PRAZO NA TAXA
DE CÂMBIO R\$/US\$**

Monografia apresentada ao
Departamento de Economia da
Universidade de Brasília (UnB) como
requisito parcial à obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: José Guilherme de Lara Resende

Brasília, DF

2013

Lucena, Pedro Feitosa de.
Diagnóstico de memória de longo prazo na taxa de câmbio
R\$/US\$/ Pedro Feitosa de Lucena, 2013.
38 f.: il. color.

Monografia (bacharelado) – Universidade de Brasília.
Departamento de Economia, 2013.

Orientador: Professor Doutor José Guilherme de Lara
Resende, Departamento de Economia.

1. Memória Longa. 2. Taxa de Câmbio. 3. Análise R/S
I. Título.

RESUMO

O presente trabalho é dividido em duas seções principais. Na primeira é feita uma breve revisão de literatura a respeito do estudo de memória longa em séries temporais e uma contextualização desse fenômeno no rol de alternativas à Hipótese de Mercados Eficientes. A segunda parte do trabalho se inicia com uma breve descrição do funcionamento do mercado de câmbio brasileiro seguida pela estimação do expoente de Hurst para os retornos diários da taxa PTAX de câmbio R\$/US\$ no período entre 04/04/1995 e 28/12/2012. Os resultados obtidos apontam na direção da rejeição da Hipótese de Mercados Eficientes para o mercado de divisas brasileiro no período.

Palavras-chave: Memória Longa, Taxa de Câmbio, Análise R/S.

ABSTRACT

The present work is divided into two main sections. First, a brief survey about long memory in time series is presented and this idea is put into the context of alternatives to the Efficient Market Hypothesis. The second section begins with a brief description of the Brazilian foreign exchange market followed by the estimation of the Hurst exponent for the daily returns of the R\$/US\$ PTAX exchange rate series between 04/04/1995 and 12/28/2012. The results suggest the rejection of the Efficient Market Hypothesis for the Brazilian foreign exchange market during the referred period.

Key-words: Long-memory, Exchange Rate, R/S Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Índice S&P 500 de janeiro de 2007 a novembro de 2013.	13
Figura 2- Correlograma de um ARMA simulado com 1000 observações.....	19
Figura 3 - Correlograma de um ARFIMA simulado com 1000 observações	19
Figura 4 – Taxa de fechamento do dólar dos EUA, em reais	23
Figura 5 - Retornos diários do dólar dos EUA	23
Figura 6 - Volatilidade dos retornos do dólar dos EUA.....	26
Figura 7- Expoente de Hurst estimado para os retornos diários R\$/US\$	30
Figura 8- Histograma das estimativas do expoente de Hurst	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Evolução do volume diário médio transacionado em bilhões de dólares. ...9	9
Tabela 2- Estatísticas descritivas da série de retornos diários.....24	24
Tabela 3 - Estatísticas descritivas do expoente de Hurst.....29	29

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	9
1. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
1.1. HIPÓTESE DE MERCADOS EFICIENTES.....	12
1.2. MEMÓRIA LONGA.....	16
1.3. DIAGNÓSTICOS DE MEMÓRIA LONGA.....	20
2. APLICAÇÃO EMPÍRICA.....	23
2.1. DADOS.....	23
2.2. A ANÁLISE R/S CLÁSSICA.....	26
2.3. RESULTADOS OBTIDOS.....	28
CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
APÊNDICE.....	37

INTRODUÇÃO

O comportamento da taxa de câmbio desperta interesse de pesquisa em diversos campos do conhecimento econômico. Para a macroeconomia, o regime cambial de um país pode ser determinante na escolha de política econômica adequada para enfrentar um choque negativo (MUNDELL, 1963).

Para a economia internacional sua relevância é ainda mais evidente. Uma boa exposição das implicações dessa variável na política comercial dos países pode ser vista em Thorstensen, Marçal e Ferraz (2012).

Também é possível compreender o interesse financeiro do estudo da taxa de câmbio. O mercado de divisas e seus derivativos representa o maior volume de transações no mundo (BECH, 2012). Presente nas mais distintas atividades, desde mercado futuro e opções, onde funciona como instrumento de *hedge* até sua função mais básica de intermediário das trocas no comércio internacional de mercadorias e serviços (BECH, 2012).

A fonte mais abrangente de dados de operações cambiais é o relatório: *Triennial Central Bank Survey of foreign exchange and derivatives market activity* do *Bank for International Settlements*. Devido a sua periodicidade, a pesquisa não foi realizada no auge da crise financeira, mas é interessante avaliar a evolução no tempo desses dados.

Tabela 1 - Evolução do volume diário médio transacionado em bilhões de dólares.

Instrumento	2001	2004	2007	2010	2013
Transações à vista	386,21	630,97	1.004,89	1.488,08	2.046,16
Contratos a termo	130,34	208,80	361,73	474,51	680,00
Swap cambial	655,89	954,16	1.714,37	1.758,76	2.227,64
Swap de moeda	7,19	21,11	31,50	42,78	54,02
Opções e outros produtos	59,68	119,13	211,75	207,08	336,75
Total	1.239,31	1.934,16	3.324,24	3.971,20	5.344,57
Total em valores de abril de 2013	1.500,23	2.035,82	3.375,72	3.968,81	5.344,57

Fonte: Bank for international settlements, 2013. Elaboração própria.

Portanto, uma variedade grande de profissionais pode se beneficiar da melhor compreensão acerca das trajetórias de taxa de câmbio para as diversas nações.

De acordo com Souza, Tabak e Cajueiro (2006), o comportamento da taxa de câmbio pode ser estudado sob duas perspectivas principais: a modelagem de processos e o estudo direto de seus movimentos. No primeiro caso procura-se modelar, individualmente e na forma de interações, os elementos considerados determinantes para a taxa de câmbio.

Já o estudo direto dos movimentos cambiais emprega diagnósticos estatísticos. O objetivo principal dessa abordagem é encontrar um tipo estilizado de processo que se aproxime dos movimentos observados na taxa de câmbio.

A abordagem de modelagem de fatores individualmente pode ser associada aos modelos da família de precificação de ativos (ENGEL e WEST, 2005). Esse tipo de modelo foi duramente criticado na literatura pelo trabalho seminal de Meese e Rogoff (1983) em que os autores estabeleceram um resultado de impossibilidade absoluta de modelos que utilizam fundamentos macroeconômicos como a taxa de juros e os diferenciais de inflação entre países sejam capazes de fornecer boas previsões para a taxa de câmbio. No entanto, há literatura recente que continua advogando no sentido da utilidade de modelos desse tipo.

Por exemplo, Engel e West (2005) apresentam resultados da relação bilateral das taxas de câmbio entre os Estados Unidos da América e os outros seis países membros do G7¹. Os autores concluem que não é possível rejeitar a hipótese de que a taxa de câmbio *spot* seja útil na previsão das taxas de câmbio *forward*, níveis de preços e de produto dos países, estabelecendo assim uma relação entre os valores presentes e futuros da taxa de câmbio e desses fundamentos macroeconômicos.

O objetivo deste trabalho será atualizar os resultados de Souza, Tabak e Cajueiro (2006), ampliando seu horizonte de investigação até o final do ano de 2012. Um objetivo secundário do trabalho é avaliar uma possível mudança estrutural no comportamento da taxa de câmbio R\$/US\$ devido à crise financeira de 2008.

O primeiro capítulo faz uma breve revisão da literatura disponível sobre o estudo de séries de tempo de memória longa e suas consequências a respeito da hipótese de mercados eficientes. Ainda no primeiro capítulo serão apresentadas as diferentes metodologias de estimação de memória longa. O segundo capítulo apresenta a base de dados e a análise R/S² (rescaled range analysis) a serem

¹ Canadá, França, Alemanha, Itália, Japão e o Reino Unido.

² A nomenclatura decorre da operação de divisão realizada para a obtenção do índice de Hurst utilizando na notação as iniciais de amplitude (*range*) e desvio-padrão (*standard deviation*) no original em inglês.

utilizadas para a estimação do expoente de Hurst (HURST, 1951) e os resultados obtidos nessa aplicação empírica. A conclusão oferece um breve comentário final.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. HIPÓTESE DE MERCADOS EFICIENTES

Um dos pioneiros nos estudos de finanças com tratamento quantitativo rigoroso é Eugene F. Fama, laureado em 2013 com o prêmio *Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel* por suas contribuições à análise empírica do apreçamento de ativos.

Entre suas ideias, destaca-se a hipótese de mercados eficientes (HME) que pode ser entendida como uma estrutura de mercado em que a avaliação dos participantes acerca do valor dos ativos transacionados reflete toda a informação disponível (FAMA, 1970). Segundo Malkiel (2003) esse conceito está associado de maneira direta ao de passeio aleatório. Em um de seus trabalhos seminais Fama (1965) define a hipótese de passeio aleatório como:

“...the theory of random walks says that the future path of the price level of a security is no more predictable than the path of a series of cumulated random numbers...” (FAMA, 1965, p. 34)

De modo um pouco mais rigoroso, isso implica que os preços de um ativo financeiro sejam distribuídos independentemente entre si ao longo do tempo. Após uma exposição cuidadosa e avaliação de dados para 30 ações que compunham o índice *Dow Jones Industrial Average* no período de 1957 a 1962 Fama (1965) concluiu que há:

“... strong and voluminous evidence in favor of the random-walk hypothesis...”. (FAMA, 1965, p. 98)

Diferentes críticas podem ser feitas à validade da hipótese de mercados eficientes. Fama (1970) faz uma lista das hipóteses básicas para a obtenção de um resultado eficiente em mercados. Santos (2011) realizou uma interpretação a qual reproduzo:

1. Não há custo de transação dos títulos em negociação;
2. Todas as informações estão disponíveis sem custo para os participantes do mercado;

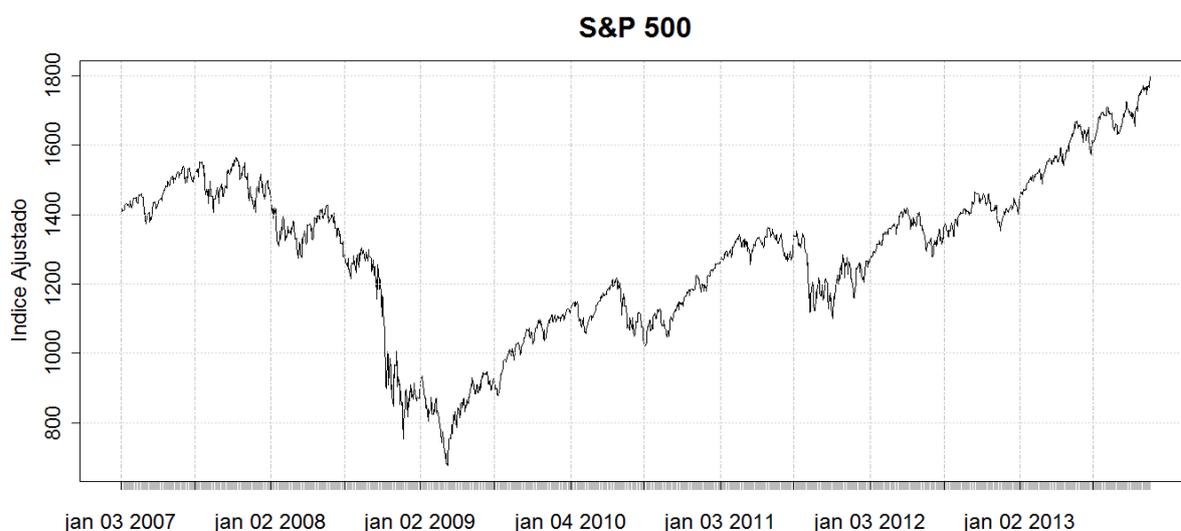
3. Todos concordam sobre as implicações das informações atuais para o preço atual e distribuições de preços futuros de cada título

Diante das restrições apresentadas acima, a hipótese de mercados eficientes deve ser submetida a gradações. Por isso, os testes empíricos de sua validade devem ter o cuidado de estabelecer quais desvios do comportamento ideal constituem violações de fato da hipótese.

Posteriormente, Fama (1991) afirma que a hipótese de mercados eficientes em sua formulação original deve ser falsa. A presença de memória longa em séries temporais de retornos de ações no mercado americano é apenas uma das possíveis explicações para que haja desvios da hipótese de eficiência de Fama (LO, 2008).

Em especial, a ocorrência de grandes crises e bolhas constitui como um argumento na direção da irracionalidade dos investidores e da ineficiência dos mercados financeiros. A crise da bolha da internet da década de 1990 assim como a grande volatilidade ocorrida em outubro de 1997 ou a mais recente crise financeira mundial de 2008 são exemplos que põem em dúvida a capacidade do nível de preços dos ativos negociados no mercado refletirem de maneira adequada as informações disponíveis (MALKIEL, 2003).

Figura 1 - Índice S&P 500 de janeiro de 2007 a novembro de 2013.



Fonte: Yahoo! Finance. Elaboração própria.

A magnitude da relação entre preços passados e preços futuros é vista de diferentes maneiras nos testes de eficiência de mercado e de comportamento de passeio aleatório dos preços de ativos. Do ponto de vista estatístico uma magnitude relativamente pequena das autocorrelações de uma série pode ser argumento suficiente para rejeitar essas hipóteses.

No entanto, do ponto de vista do investidor profissional, mesmo a certeza de que haja relação entre os preços pode ser irrelevante se as variações esperadas forem tão pequenas que a possibilidade de exploração lucrativa das flutuações seja inviabilizada pelos custos de operação do mercado (FAMA, 1970).

Enquanto Fama (1965) encontrou apenas índices de variação muito pequenos, frequentemente com o comportamento de reversão à média, outros autores obtiveram resultados mais animadores do ponto de vista de utilizar dados do comportamento passado de preços de ativos como forma de planejar seus investimentos.

Lo e MacKinlay (1988) avaliaram diferentes carteiras e índices de ações negociadas na bolsa de valores de Nova Iorque no período entre 1962 e 1985. Os autores encontraram uma correlação substancial entre valores semanais nos dados avaliados, chegando a um índice de autocorrelação de primeira ordem de 0,42 para um conjunto de ações de empresas com baixa capitalização. Esse resultado implica que aproximadamente 18% da variação no retorno para uma determinada semana pode ser “explicada” pela semana anterior.

Os autores ressaltam, entretanto, que a possibilidade de que os retornos dos investimentos em certos ativos possa exibir certo grau de previsibilidade, algo até então rejeitado pela hipótese de mercados eficientes, não implica necessariamente o surgimento de oportunidades de lucro sem risco no mercado.

Além disso, os autores apontam as fragilidades empíricas de seus resultados, tal qual a sensibilidade da previsibilidade dos retornos à periodicidade avaliada. A dependência temporal nos preços é significativa para dados diários e semanais, mas praticamente nula para retornos mensais e anuais.

Outra limitação do trabalho de Lo e MacKinlay (1988) é que enquanto os retornos semanais de carteiras e índices apresentam evidência de previsibilidade, o mesmo resultado não é obtido quando os ativos são avaliados individualmente.

A hipótese de mercados eficientes deixou a posição de unanimidade que tinha e passou a concorrer com ideias alternativas (LO, 2000). Porém, o conjunto de contribuições que se seguiu ao trabalho de Fama demonstra a robustez dessa abordagem particular a respeito do mercado. Assim, é preciso também apontar que muitas vezes esse corpo teórico foi responsabilizado por comportamentos perniciosos de alguns agentes de mercado quando na verdade os trabalhos teóricos apontavam justamente para a impossibilidade de realizar recomendações práticas a partir da HME.

Ball (2009) aborda a HME de maneira interessante. Após a crise financeira de 2008 houve uma grande proliferação de explicações para uma tolerância supostamente excessiva aos riscos de formação de uma bolha nos preços de ativos, em especial no mercado imobiliário dos Estados Unidos da América. Ball (2009) apresenta em seu artigo alguns fatos que foram identificados, erroneamente segundo ele, como consequências da influência da HME.

Dentre as coisas que a HME não diz, o autor elenca: o colapso de instituições financeiras de grande porte é indício da ineficiência dos mercados e que a HME tem como hipótese que a distribuição de probabilidade dos retornos não se altera no decorrer do tempo. Com relação à primeira declaração o autor menciona a posição do investidor George Soros em apontar a falência do Lehman Brother como uma falsificação da HME. No entanto, para Ball (2009) um evento como esse apenas se corrobora com um resultado da teoria de que retornos acima do mercado não ocorrem de maneira persistente e, portanto posições de alavancagem excessivamente otimistas podem levar a crises.

Quanto ao segundo argumento, Ball (2009) recorda que na verdade Fama (1965) não faz hipóteses explícitas acerca dessas distribuições de probabilidade e que a HME implica tão somente que toda a informação disponível em um determinado momento seja utilizada na avaliação que os agentes fazem dos preços dos ativos. Muitas teorias alternativas surgiram para buscar explicação aos casos de refutação empírica da hipótese de mercados eficientes Lim e Brooks (2011)

Andrew Lo escreveu o verbete sobre a HME do dicionário Palgrave de economia e destacou o desenvolvimento das ideias de economia comportamental (KAHNEMAN E TVERSKY, 1979) e a hipótese de mercados adaptativos (HMA) (LO, 2004) como duas fontes de críticas relevantes.

A corrente da hipótese de mercados adaptativos aparece de certa forma como uma possibilidade de conciliação entre a HME e os estudos de finanças comportamentais. Segundo Lim e Brooks (2011) isso ocorre porque a hipótese de mercados adaptativos permite que o grau de eficiência de um mercado varie no tempo. Assim, não é preciso rejeitar ou aceitar a HME e, portanto, as considerações devem ser feitas em termos da trajetória histórica de um mercado.

A análise de memória longa, em especial com a utilização do expoente de Hurst (HURST, 1951), se mostra adequada para diagnósticos com esse cunho dinâmico. Cajueiro e Tabak (2004) realizaram um estudo a respeito da evolução do expoente de Hurst para 13 índices de mercado acionário internacionais no período de janeiro de 1992 a dezembro de 2002 com o objetivo de demonstrar que houve variação no grau de eficiência nos mercados emergentes estudados para o período. Souza, Tabak e Cajueiro (2006) e Alvarez-Ramirez *et al.* (2008). Apesar de utilizarem metodologias distintas de cálculo do expoente de Hurst, ambos os trabalhos apontam no sentido de que uma avaliação baseada na trajetória do índice de Hurst é vantajosa em comparação à apuração de um índice para toda a base de dados.

Alvarez-Ramirez *et al.* (2008) utilizam *Detrended Fluctuation analysis* (DFA) e estudam os índices *Dow Jones* entre 1928 e 2007 e o *S&P 500* entre 1950 e 2007. Os autores apontam a utilização de janela móvel de dados como uma das contribuições de seu trabalho e argumentam que a utilização dessa técnica permite indicar que no período entre 1971 e 1972 houve uma mudança estrutural no mercado acionário estadunidense na direção de maior eficiência. Segundo os autores isso teria sido causado pelo fim do regime de *Bretton Woods*.

1.2. MEMÓRIA LONGA

O estudo da economia frequentemente se inspira nas ciências naturais para buscar novas intuições e ferramentas. A presença de memória longa em séries

temporais faz parte desse tipo de colaboração. Um dos primeiros estudos a identificar um padrão de memória longa foi realizado pelo engenheiro civil e de recursos hídricos Harold Edwin Hurst e versava sobre o comportamento do nível do Rio Nilo no Egito.

Como funcionário do governo inglês a tarefa de Hurst era a de projetar reservatórios capazes de superar os períodos de seca mais prolongada que pudessem ser previstos (MANDELBROT e HUDSON, 2007). Como uma metáfora ao mercado financeiro, Hurst precisava construir, ao menor custo possível, um instrumento de *hedge* que o protegesse contra a maior queda de preços previsível com os dados de que dispunha.

Em 1951 Hurst publica na revista especializada *Transactions of the American Society of Civil Engineers* o artigo *Long-term storage capacity of reservoirs*. Neste artigo ele apresenta uma relação entre o nível mínimo e o nível máximo da vazão do Rio Nilo e propõe que é possível relacionar essa amplitude de variação ao número de anos durante os quais se pretende prevenir as cheias e secas do rio.

Hurst investigou 51 fenômenos naturais distintos em sua busca por uma descrição satisfatória do comportamento do Nilo. Mandelbrot e Hudson (2007) relatam que no âmbito econômico há relativa aceitação de que algumas variáveis apresentam dependência temporal, como por exemplo, inflação, produto interno bruto de um país, taxas de desemprego. No entanto, segundo os autores, os métodos para avaliar essa relação intertemporal entre as observações estariam excessivamente focados em intervalos pequenos de tempo.

Mandelbrot e Wallis (1969) retomam os estudos de Hurst ao apontarem que o efeito cumulativo e, portanto de longo prazo, das séries de dados poderia ter uma importância tão grande na economia quanto tinha na hidrologia, em que uma sequência de anos de altos níveis no Rio Nilo poderia ter seus efeitos perpetuados mesmo que fosse sucedida por um período de seca, a depender na realidade da amplitude dessa variação mais do que do nível das cheias analisadas individualmente.

A relação entre a hipótese de mercados eficientes e a presença de memória longa em séries temporais aparece no fenômeno do passeio aleatório

(MANDELBROT e HUDSON, 2007). Se for verdade que o preço de um ativo depende apenas das informações publicamente disponíveis e da forma com que os agentes as interpretam, não pode ser verdade que fatos ocorridos num passado distante possuam informação relevante para esse mecanismo de formação de preços, pois já deveriam ter sido incorporados anteriormente.

Para identificar memória longa é preciso defini-la de maneira rigorosa e fazer distinção em relação ao que se poderia chamar um processo de “memória curta”. Morettin e Tolo (2006) utilizam a função de autocorrelação das séries de tempo para fazer essa caracterização. Segundo Morettin e Tolo (2006), uma série é dita de memória curta se houver um decaimento exponencial da função de autocorrelação e esta for limitada. Já um processo de memória longa é definido como um processo estacionário em que a função de autocorrelação decresce hiperbolicamente (de modo suave) para zero.

Considere então um processo ARMA (p,q) da forma³:

$$\tilde{X}_t = \phi_1 \tilde{X}_{t-1} + \dots + \phi_p \tilde{X}_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

Formalmente, tem-se que a sequência \tilde{X}_t com autocorrelação $\rho_j = \frac{\gamma_j}{\gamma_0}$, onde γ_j é a autocovariância de ordem j e, portanto, γ_0 é a própria variância, terá memória longa se o limite abaixo não for finito:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{j=-n}^n |\rho_j|$$

Souza, Tabak e Cajueiro (2006) utilizam uma definição similar baseada na função de autocovariância. A função de autocovariância assume maior importância nos estudos de decomposição espectral em que a busca por ciclos é o objetivo principal da análise (MORETTIN e TOLOI, 2006).

Para ilustrar a diferença de comportamento das séries de memória curta e de memória longa é interessante fazer distinções gráficas. Utilizando o pacote estatístico R foram simulados dois modelos. O primeiro se trata de um *autoregressive moving average* ARMA (1,1) com parâmetros $\phi = 0,8$ e $\theta = 0,3$ e o

³ Notação baseada em Morettin e Tolo (2006).

segundo um *autoregressive fractionally integrated moving average* ARFIMA (1;0,45;1) com parâmetros $\phi = 0,8$, $\theta = 0,3$ e $d = 0,45$.

Seja B um operador de translação para o passado, ou seja: $B\tilde{Z}_t = \tilde{Z}_{t-1}$ e $B^m\tilde{Z}_t = \tilde{Z}_{t-m}$. Seja Δ o operador diferença, tal que $\Delta\tilde{Z}_t = \tilde{Z}_t - \tilde{Z}_{t-1}$. É fácil ver que $\Delta = 1 - B$.

Para qualquer número real $d > -1$, o operador de diferença fracionária pode ser definido como:

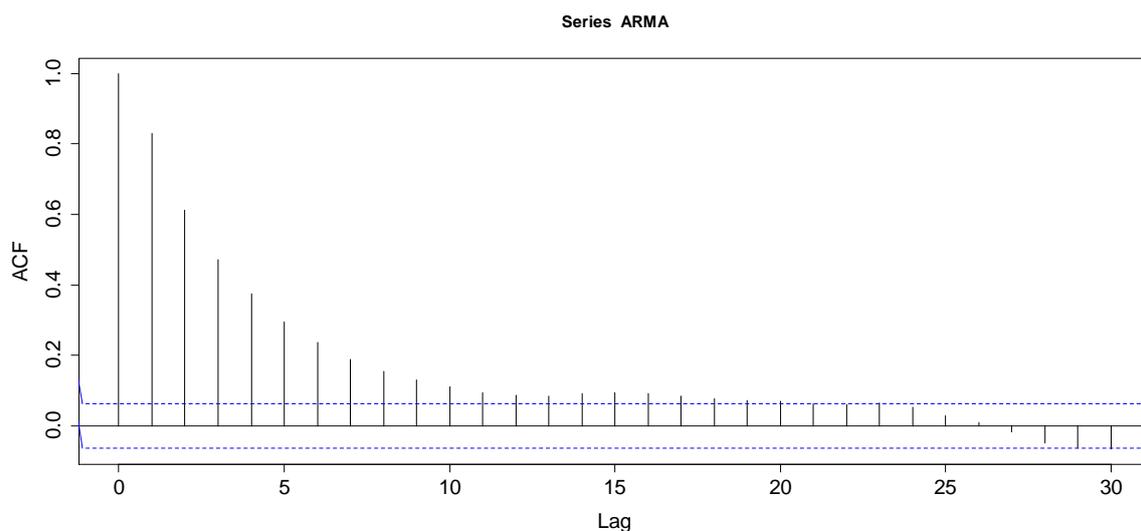
$$(1 - B)^d = \sum_{k=0}^{\infty} \binom{d}{k} (-B)^k$$

Seguindo a notação de Morettin e Tolo (2006), o modelo ARFIMA (p,d,q) pode ser escrito como:

$$\phi(B)(1 - B)^d\tilde{Z}_t = \theta(B)a_t$$

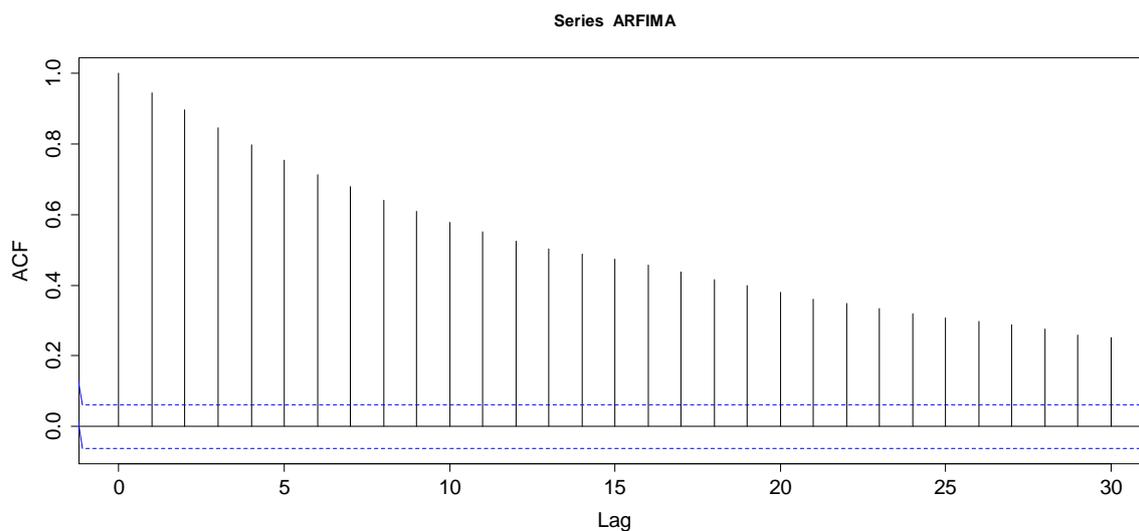
onde $\{\tilde{Z}_t\}$ é estacionário, $\{a_t\}$ é um ruído branco e $\phi(B)$ e $\theta(B)$ são os polinômios de grau p e q, respectivamente, de maneira similar à descrição do processo ARMA (p, q) feita anteriormente.

Figura 2- Correlograma de um ARMA (1,1) simulado com 1000 observações



Elaboração própria.

Figura 3 - Correlograma de um ARFIMA (1;0,45;1) simulado com 1000 observações



Elaboração própria.

As aplicações das séries de memória longa continuam sendo utilizadas nos campos da hidrologia, climatologia e outras ciências naturais. Como parte dos desenvolvimentos de modelos para séries de memória longa, Morettin e Tolo (2006) listam os modelos da família *autoregressive fractionally integrated moving average* (ARFIMA) propostos por Granger e Joyeux (1980) e o uso da ideia de memória longa na família *generalized autoregressive conditional heteroskedasticity* (GARCH) com os modelos *fractionally integrated generalized autoregressive conditional heteroskedasticity* (FIGARCH), apresentados por Baillie (1996).

No caso da economia o conceito de memória longa tem se mostrado útil nas avaliações de grau de eficiência de mercados acionários. Exemplos são os trabalhos de: Cajueiro e Tabak (2004) e Alvarez-Ramirez *et al.* (2008). No caso do mercado cambial uma abordagem prática encontra-se em Souza, Tabak e Cajueiro (2006).

Portanto, o estudo do comportamento das séries econômicas se beneficiou dos debates em torno da Hipótese de Mercados Eficientes e do desenvolvimento de instrumentos estatísticos para o diagnóstico e tratamento de falhas nessa hipótese dentre as quais, destaca-se a presença de memória longa nos dados.

1.3. DIAGNÓSTICOS DE MEMÓRIA LONGA

O procedimento clássico para detectar a presença de memória longa em séries temporais é a estimação do expoente de Hurst (HURST, 1951). Segundo Granero, Trinidad Segovia e García Pérez (2008), sua estimação segue

tradicionalmente dois procedimentos, a análise chamada *Rescaled Range Analysis* (R/S) e a *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA).

O expoente de Hurst varia em uma escala de 0 a 1 e deve ser avaliado em termos de sua distância em relação ao valor 0,5. Um índice inferior a 0,5 indica que a série de dados possui comportamento antipersistente, isto é, que os valores da série tendem a apresentar movimentos opostos aos valores que os precederam. Para valores iguais a 0,5 (ou muito próximos) o comportamento é aquele esperado de um passeio aleatório em que tanto um aumento quanto uma diminuição nos valores possui a mesma chance de ocorrência. Por fim, se a série apresenta um expoente de Hurst superior a 0,5 ocorre um comportamento persistente e movimentos de alta (baixa) devem ser seguidos por outros movimentos de alta (baixa).

A análise DFA possui a vantagem de poder ser utilizada em séries não estacionárias (CAJUEIRO e TABAK, 2005). Esse método de investigação de memória longa está ligado à pesquisa nas ciências biológicas, tendo sido desenvolvida de maneira independente por Moreira, da Silva, e Kamphorst, (1994) e Peng *et al.*, (1994) .

A análise R/S como proposta em Hurst (1951) e refinada por Mandelbrot e Wallis (1969) sofreu algumas críticas na literatura. Lo (1991) aponta que a análise R/S pode confundir a presença de memória longa com o que na verdade seria correlação em observações próximas no tempo, portanto memória curta. Lo (1991), propõe uma nova forma de estimação do expoente de Hurst, que ficou conhecida na literatura como análise R/S modificada.

Teverovsky, Taqqu e Willinger (1999) mostraram que a análise R/S proposta por Lo (1991) era excessivamente conservadora na rejeição de que não há memória de longo prazo em uma série de dados. Cajueiro e Tabak (2004) e Souza, Tabak e Cajueiro (2006) propõem maneiras distintas de sanar os problemas apontados por Lo (1991). Cajueiro e Tabak (2004) utilizam um filtro AR-GARCH para isolar possíveis efeitos de curto prazo e efeitos de volatilidade nos retornos dos índices estudados. Souza, Tabak e Cajueiro (2006), por sua vez, utilizam um embaralhamento de dados em blocos de 10 observações de modo a remover qualquer correlação de curto prazo que pudesse estar presente.

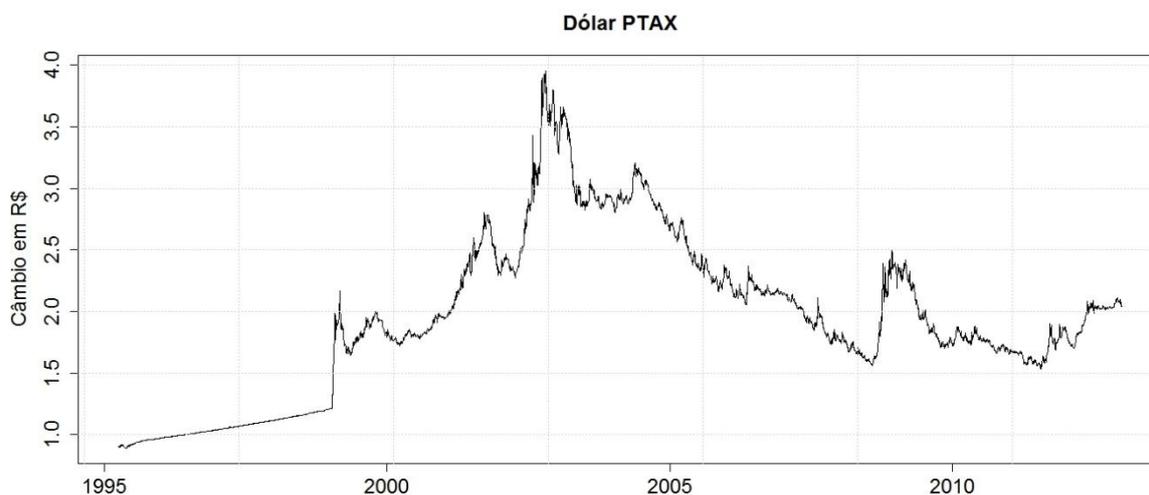
Uma ramificação recente dos trabalhos inicialmente propostos por Mandelbrot (1969) é a interpretação geométrica do comportamento de séries temporais. Granero, Trinidad Segovia e García Pérez (2008) propõem dois algoritmos que exploram esse tipo de desenvolvimento e comparam os resultados obtidos com esses algoritmos àqueles da análise R/S clássica e R/S modificada, a partir de dados gerados por simulação. Os resultados desse trabalho parecem demonstrar que tanto a análise R/S clássica quanto a modificada são sensíveis ao tamanho da amostra utilizada. Uma limitação do trabalho de Granero, Trinidad Segovia e García Pérez (2008) apontada no próprio trabalho é que os métodos geométricos desenvolvidos podem ser afetados pelo valor médio das séries avaliadas.

2. APLICAÇÃO EMPÍRICA

2.1. DADOS

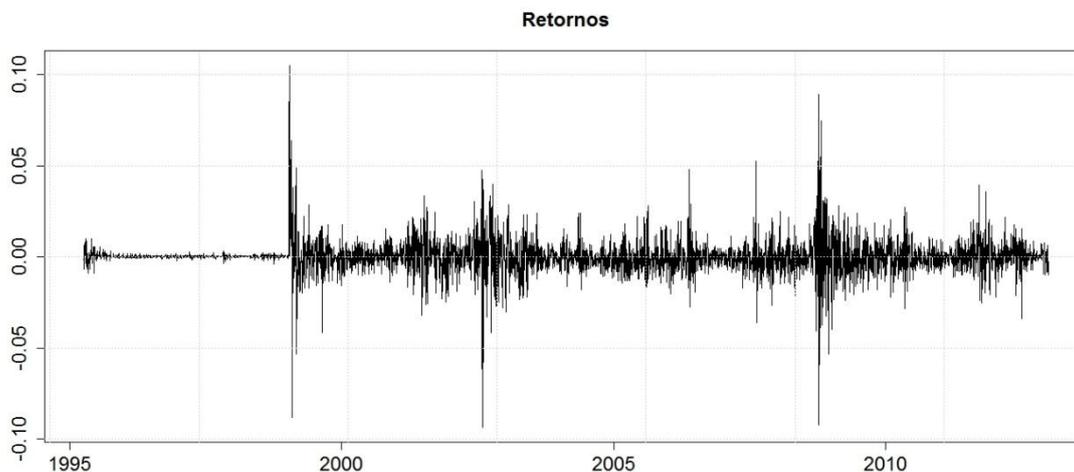
A base de dados desse estudo é a série R\$/US\$ de fechamento diário (venda), divulgada pelo Banco Central do Brasil (BCB), no período entre 3 de abril de 1995 a 31 de dezembro de 2012. A partir desses dados é obtida a série de retornos como definida em Souza, Tabak e Cajueiro (2006): $r_t = \ln(X_t/X_{t-1})$, sendo X_t e X_{t-1} as taxas de câmbio de fechamento nas datas t e $t - 1$.

Figura 4 – Taxa de fechamento do dólar dos EUA, em reais



Fonte: Banco Central do Brasil. Elaboração própria.

Figura 5 - Retornos diários do dólar dos EUA



Fonte: Banco Central do Brasil. Elaboração própria.

Tabela 2- Estatísticas descritivas da série de retornos diários

Retornos	
Média	0,0001837
Mediana	0,0001542
Máximo	0,1052923
Mínimo	-0,0935926
Desvio-padrão	0,009259598
Assimetria	0,4954214
Curtose	22,64007
Observações	4.451

Elaboração própria.

O mercado de câmbio no Brasil já foi dividido entre o mercado de taxas livres, também conhecido como “comercial” e o mercado de taxas flutuantes, ou “turismo”. O mercado de câmbio de taxas livres foi instituído pela Resolução 1.690, de 18/03/1990, do Conselho Monetário Nacional (CMN) enquanto o mercado de taxas flutuantes foi instalado por meio da Resolução 1.552, de 22/12/1988. A resolução 3.265 de 08/03/2005 unificou esses mercados e desde então há apenas um mercado cambial no Brasil.

De acordo com Souza, Tabak e Cajueiro (2006) entre abril de 1995 e outubro de 2004, estiveram em vigor três regimes cambiais. Inicialmente, vigorou o regime cambial com intrabandas. Esse regime esteve em vigor no período de 6/3/1995 a 12/1/1999. No período de 13 a 15/1/1999, as intrabandas foram abolidas, e a partir de 18/1/1999 foi adotado o regime de câmbio flutuante que tem sido empregado até hoje apesar de intervenções no mercado à vista ocorrerem nos momentos de maior volatilidade.

Outras mudanças ocorreram nas operações de câmbio no país com a publicação da resolução 3.625 de 2005. Até o referido ano, as transferências ao exterior somente podiam ocorrer diretamente na rede bancária se estivessem contempladas de maneira detalhada na regulamentação do Banco Central. Para firmar compromissos em moeda estrangeira os residentes brasileiros precisavam de autorização prévia do Banco Central. A resolução 3.625 estabeleceu a livre negociação entre os agentes autorizados a operar em câmbio e seus clientes, sem

limitação de valor e natureza e sem qualquer autorização prévia do Banco Central diminuiu a carga burocrática até então inerente a esse mercado.

Cada um dos atores do sistema financeiro nacional tem diferentes graus de autonomia para atuar nas operações de câmbio. Os bancos, exceto os de desenvolvimento e a Caixa Econômica Federal, podem ser autorizados a realizar qualquer tipo de operação de câmbio. As agências de fomento, as sociedades de crédito, financiamento e investimento, as corretoras de câmbio ou de títulos e valores mobiliários e as distribuidoras de títulos e valores mobiliários podem ser autorizadas a realizar operações de forma limitada. A regulamentação cambial brasileira está descrita no Regulamento do Mercado de Câmbio e Capitais Internacionais (RMCCI). A base de dados deste trabalho é a taxa PTAX do Banco Central do Brasil. Essa taxa é a média de venda (compra) do dólar comercial ponderada em valor apurada pelo BCB ao final de cada dia (FORTUNA, 2011). Essa taxa serve de referência ao mercado nas diversas operações que podem ser realizadas no mercado cambial.

Alguns estudos já foram realizados acerca da estrutura de mercado das transações cambiais brasileiras. Laurini, Furlani e Portugal (2008) utilizam dados de negociações intradiárias no mercado à vista para realizar um exame do grau de eficiência do mercado brasileiro. A partir de dados de *bid* e *ask* os autores avaliaram se as informações seriam incorporadas aos preços nesse mercado. Por fim, concluem que há evidência para rejeitar a hipótese de passeio aleatório nos retornos das séries de *bid* e de *ask* indicando a presença de memória longa (HURST, 1951) nessas séries.

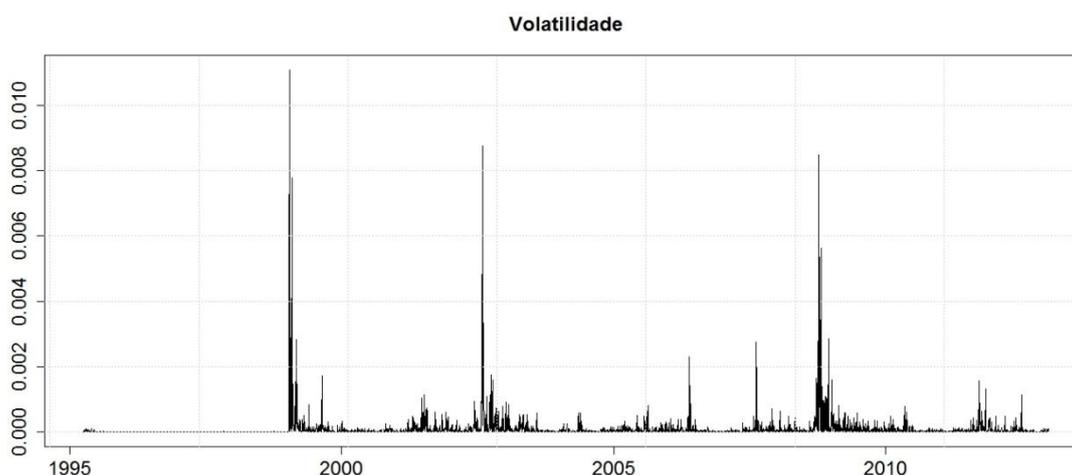
A relação entre o mercado à vista e o mercado futuro de câmbio no Brasil foi estudada por Ventura e Garcia (2012). Esse trabalho menciona uma característica peculiar do Brasil, o volume transacionado no mercado futuro⁴ representa aproximadamente cinco vezes o tamanho do mercado à vista interbancário. Garcia e Urban (2004) fazem uma descrição detalhada do mercado de câmbio interbancário brasileiro e argumentam que a proliferação de algumas operações no mercado futuro é prejudicial, pois aumenta o risco operacional e a exposição de entidades financeiras que não sejam autorizadas a carregar posições em câmbio.

⁴ Operações cuja liquidação seja realizada em prazo superior a três dias úteis são consideradas mercado futuro (FORTUNA, 2011).

Garcia e Urban (2004), propõem que o Banco Central brasileiro seja envolvido de maneira mais direta em algumas operações. Ainda segundo os autores, isso deveria ser feito substituindo o modelo de negociações descentralizadas em vigor por um sistema eletrônico supervisionado diretamente pelo Banco Central, que passaria a ter acesso imediato à plataforma de negociações dos agentes de mercado. Atualmente vigora no país o sistema de *decentralized multiple-dealer market* em que o Banco Central credencia algumas entidades a realizar mini-pregões seja entre os próprios *dealers* seja por intermédio de uma corretora.

O mercado brasileiro de divisas passou por algumas crises ao longo dos anos. Em 1999 houve uma grande desvalorização quando o sistema de bandas foi abandonado. Na primeira eleição do presidente Luiz Inácio Lula da Silva também houve um momento de grande volatilidade e no dia 22 de outubro de 2002 a taxa de câmbio de dólar PTAX alcançou um pico de R\$ 3,95, patamar até hoje não superado. Por fim o último grande pico de volatilidade ocorreu durante a crise financeira de 2008. Procedendo como em Souza, Tabak e Cajueiro (2006) e definindo uma medida de volatilidade como o valor absoluto dos retornos (r_t^2) é possível ilustrar na figura 6 abaixo esses momentos de grande turbulência.

Figura 6 - Volatilidade dos retornos do dólar dos EUA



Elaboração própria.

2.2.A ANÁLISE R/S CLÁSSICA

Os procedimentos para a obtenção do expoente de Hurst (HURST, 1951) por meio da análise R/S clássica são simples e isso provavelmente faz parte dos motivos desse método ter ganhado popularidade. Nesse trabalho seguimos os passos expostos em Souza, Tabak e Cajueiro (2006):

Para uma série de \mathcal{N} retornos de um determinado ativo dividem-se n blocos contíguos de τ elementos numerados com $1 \leq i < n$.

Para cada bloco de tamanho τ calcula-se:

a) A média dos retornos:

$$\bar{r}_i = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} r_{t,i}$$

b) O desvio-padrão em cada bloco:

$$S_i = \left[\frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} (r_{t,i} - \bar{r}_i)^2 \right]^{1/2}$$

c) A estatística R/S de cada bloco i $(R/S)_i$:

$$(R/S)_i = \frac{1}{S_i} \left[\max_{1 \leq t \leq \tau} \sum_{k=1}^t (r_{k,i} - \bar{r}_i) - \min_{1 \leq t \leq \tau} \sum_{k=1}^t (r_{k,i} - \bar{r}_i) \right]$$

d) A média dos valores $(R/S)_i$ que se associa cada uma delas ao tamanho de bloco τ :

$$(R/S)_\tau = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R/S)_i$$

e) Por fim, terminando os cálculos da estatística para diversos valores de comprimento de bloco τ , obtém-se o expoente de Hurst “H” da relação:

$$(R/S)_\tau = (\tau/2)^H$$

f) Essa última equação indica que podemos usar uma regressão conforme Mandelbrot e Wallis (1969):

$$\log_{10}(R/S)_\tau = \log_{10} C + H \log_{10} \tau + erro$$

Uma avaliação crítica dessa estimacão foi feita por Granero, Trinidad Segovia e García Pérez (2008). Nesse trabalho os autores chamam atencão para o fato de que boa parte dos estudos realizados utilizando a análise R/S oferecia evidência para a rejeição da hipótese de mercados eficientes mesmo que em objetos de estudo tão

diferentes quanto ações individuais negociadas na bolsa de Nova York⁵ e índices para o mercado grego de ações em períodos por vezes também bastante distintos.

Ainda nesse trabalho, os autores apontam que a análise R/S se mostra superior em séries de média zero, algo frequente para séries financeiras que apresentam variações pequenas e uma clara concentração das frequências reais dos retornos em torno do zero.

Sánchez-Granero, Fernández-Martínez e Trinidad-Segovia (2012) propõem novos métodos de estimação do expoente de Hurst, que seriam mais robustos tanto casos de amostras reduzidas e que teriam grande utilidade na avaliação de séries financeiras. Ainda assim, estudos recentes como Qian e Rasheed (2010) utilizam a análise R/S clássica e argumentam no sentido da sua qualidade.

2.3.RESULTADOS OBTIDOS

Esse trabalho seguirá a estimação feita em Souza, Tabak e Cajueiro (2006) em que um embaralhamento dos dados foi realizado em grupos de 10 observações cada, de modo a destruir eventuais correlações de curto prazo que implicassem no viés apontado por Lo (1991). O pacote estatístico R (TEAM, 2013) foi utilizado para a estimação, por meio do pacote *pracma* (BORCHERS, 2013) que possui a função *hurst* () para realizar a análise R/S clássica como proposta em Mandelbrot e Wallis (1969).

Um dos principais problemas apontados na literatura recente em relação à análise R/S diz respeito a séries menores que 1000 observações (GRANERO, TRINIDAD SEGOVIA E GARCÍA PÉREZ, 2008). Souza, Tabak e Cajueiro (2006) utilizam uma janela móvel de dados de aproximadamente dois anos (504 observações) por conta das limitações de sua base de dados em que incluir o período hiperinflacionário anterior ao ano de 1994 poderia ser mais prejudicial às estimativas do que um eventual viés no expoente de Hurst.

Por cobrir um período maior de tempo, foi possível neste trabalho aumentar a janela de dados para aproximadamente quatro anos (1008 observações) seguindo a

⁵ New York Stock Exchange

recomendação de Cajueiro e Tabak (2004) que apontam que devido ao ciclo político brasileiro esse deve ser um tamanho suficientemente grande de tempo.

Abaixo foi feita uma comparação entre os resultados obtidos no presente estudo e os resultados obtidos por Souza, Tabak e Cajueiro (2006):

Tabela 3 - Estatísticas descritivas do expoente de Hurst

	Hurst - Retornos	Souza, Tabak e Cajueiro (2006)
Média	0,5945	0,5685
Mediana	0,6048	0,5866
Máximo	0,7175	0,6907
Mínimo	0,4172	0,4248
Desvio-padrão	0,0552	0,0697
Assimetria	-0,5608	-0,4808
Curtose	2,8554	2,2058
Observações	3.444	1.079

Elaboração própria.

É preciso cautela na comparação feita acima. O índice de Hurst se mostrou sensível à escolha do tamanho da janela de dados utilizada. Não foi encontrada uma referência objetiva de metodologias de seleção de uma janela ótima. No entanto, os estimadores de Mínimos Quadrados Ordinários utilizados pela análise R/S gozam de características assintóticas de eficiência e ausência de viés (WOOLDRIDGE, 2006), do que se deduz que é prudente usar a maior janela que ainda permita manter uma avaliação das variações do índice. Destaca-se então que a mudança da janela de dados de 504 para 1008 observações pode ser responsável por alguma diferença nos resultados obtidos nos dois trabalhos.

O segundo motivo para as diferenças encontradas é a própria expansão da base de dados, que inclui todo o período de 2005 a 2012. Nesses anos o Brasil experimentou um salto no volume de transações no mercado de divisas (BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS, 2013) que potencialmente afetou a dinâmica do mercado cambial. Apesar dessas qualificações, é preciso comentar a diferença das médias e medianas entre os dois estudos que indicariam (não isoladamente) que o Brasil não seguiu uma trajetória de aumento de eficiência. O índice de Hurst no Brasil parece ter se afastado do valor de 0,5 que é a referência indicativa do

comportamento de passeio aleatório associado a um mercado plenamente eficiente. Essa impressão é reforçada quando observada a evolução do índice de Hurst no período analisado, destaca-se na figura 7 abaixo.

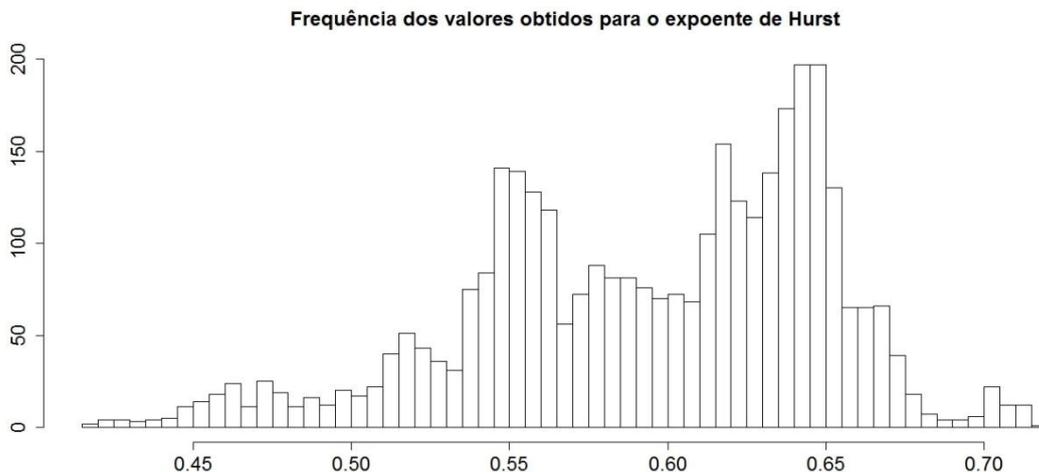
Figura 7- Expoente de Hurst estimado para os retornos diários R\$/US\$



Elaboração própria.

A figura acima mostra que no meio da série houve uma tendência declinante em direção a 0,5 atingindo um mínimo de 0,42 e depois retornando aproximadamente ao patamar anterior. É interessante notar também a distribuição de valores obtidos, descrita na figura 8 a seguir.

Figura 8- Histograma das estimativas do expoente de Hurst



Elaboração própria.

Uma grande variedade de fatores influencia o comportamento da taxa de câmbio brasileira com respeito ao dólar americano. Esses fatores muitas vezes extrapolam as relações comerciais e financeiras mais diretas entre os dois países e incluem, mas não se limitam ao ambiente político no Brasil e nos Estados Unidos da América, o ritmo de crescimento nesses países e em seus outros parceiros comerciais, a regulamentação das operações cambiais e a criação de novos produtos financeiros que ampliem o fluxo de capitais entre os países.

As próprias decisões de política econômica tomadas em cada uma dessas nações são ainda um componente determinante das características da série de retornos da taxa de câmbio analisada neste trabalho. No entanto, a complexidade desse tema é incompatível com o reduzido escopo dessa monografia.

CONCLUSÃO

Ao longo desse trabalho discutimos a importância de se estudar o mercado cambial. A complexidade da formação da taxa de câmbio de um país sugere a utilização de diferentes abordagens de estudo, incluindo tanto as quantitativas quanto aquelas de cunho histórico e comparativo.

As evidências levantadas nesse trabalho corroboram os resultados de Souza, Tabak e Cajueiro (2006) no que tange à rejeição de um comportamento compatível com a Hipótese de Mercados Eficientes no caso da relação R\$/US\$ para o período analisado. No entanto, as explicações macroeconômicas que sustentam os resultados encontrados são a maior limitação desse trabalho.

Outro esforço de pesquisa interessante seria incluir a estimação do expoente de Hurst com metodologias mais recentes, em conjunto com as tradicionais R/S e DFA, de modo a fortalecer as evidências encontradas no tratamento feito aqui. Em especial, os desenvolvimentos propostos por Granero, Trinidad Segovia e García Pérez (2008) e também por Sánchez-Granero, Fernández-Martínez e Trinidad-Segovia (2012) parecem promissores pelo rigor do tratamento e pela forte conexão com as origens na geometria fractal que inspirou Mandelbrot em suas primeiras ideias (MANDELBROT e HUDSON, 2007)

Um desenvolvimento importante a ser realizado é aquele ligado a trabalhos que buscam utilizar a característica de memória longa de uma série de tempo na construção e calibragem de modelos de previsão e modelagem desses processos, como exposto em Laurini e Portugal (2004) ou em Qian e Rasheed (2010).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ-RAMIREZ, J. *et al.* Time-varying Hurst exponent for US stock markets. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 387, n. 24, p. pp. 6159–6169, 2008.
- BAILLIE, R. T. Long memory processes and fractional integration in econometrics. **Journal of econometrics**, v. 73, n. 1, p. pp. 5–59, 1996.
- BALL, R. The global financial crisis and the efficient market hypothesis: What have we learned? **Journal of Applied Corporate Finance**, v. 21, n. 4, p. pp. 8–16, 2009.
- BANK FOR INTERNATIONAL SETTLEMENTS. **Triennial Central Bank Survey of foreign exchange and derivatives market activity in 2013**, nov. 2013. Disponível em: <<http://www.bis.org/publ/rpfx13.htm>>. Acesso em: 18 nov. 2013
- BECH, M. FX volume during the financial crisis and now. **BIS Quarterly Review**, **March**, 2012.
- BORCHERS, H. W. **pracma: Practical Numerical Math Functions**. [s.l: s.n.].
- CAJUEIRO, D. O.; TABAK, B. M. The Hurst exponent over time: testing the assertion that emerging markets are becoming more efficient. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 336, n. 3, p. pp. 521–537, 2004.
- _____. Possible causes of long-range dependence in the Brazilian stock market. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 345, n. 3, p. pp. 635–645, 2005.
- ENGEL, C.; WEST, K. D. Exchange Rates and Fundamentals. **Journal of Political Economy**, v. 113, n. 3, p. pp. 485–517, 2005.
- FAMA, E. F. The Behavior of Stock-Market Prices. **The Journal of Business**, v. 38, n. 1, p. pp. 34–105, 1965.
- _____. Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. **The Journal of Finance**, v. 25, n. 2, p. pp. 383–417, 1970.
- _____. Efficient Capital Markets: II. **The Journal of Finance**, v. 46, n. 5, p. pp. 1575–1617, 1991.
- FORTUNA, E. **Mercado Financeiro**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2011.
- GARCIA, M. G.; URBAN, F. O mercado interbancário de câmbio no Brasil. **O mercado interbancário de câmbio no Brasil**, 2004.

GRANERO, S.; TRINIDAD SEGOVIA, J.; GARCÍA PÉREZ, J. Some comments on Hurst exponent and the long memory processes on capital markets. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 387, n. 22, p. pp. 5543–5551, 2008.

GRANGER, C. W.; JOYEUX, R. An introduction to long-memory time series models and fractional differencing. **Journal of time series analysis**, v. 1, n. 1, p. pp. 15–29, 1980.

HURST, H. E. Long-term storage capacity of reservoirs. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, v. 116, p. pp. 770–808, 1951.

KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. Prospect theory: An analysis of decision under risk. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, p. pp. 263–291, 1979.

LAURINI, M. P.; FURLANI, L. G. C.; PORTUGAL, M. S. Empirical market microstructure: An analysis of the BRL/US \$ exchange rate market. **Emerging Markets Review**, v. 9, n. 4, p. 247–265, 2008.

LAURINI, M. P.; PORTUGAL, M. S. Long memory in the R \$/US \$ exchange rate: A robust analysis. **Brazilian Review of Econometrics**, v. 24, n. 1, p. 109–147, 2004.

LIM, K.-P.; BROOKS, R. THE EVOLUTION OF STOCK MARKET EFFICIENCY OVER TIME: A SURVEY OF THE EMPIRICAL LITERATURE. **Journal of Economic Surveys**, v. 25, n. 1, p. pp. 69–108, 2011.

LO, A. W. Long-Term Memory in Stock Market Prices. **Econometrica**, v. 59, n. 5, p. pp. 1279–1313, 1991.

LO, A. W. Finance: A selective survey. **Journal of the American Statistical Association**, v. 95, n. 450, p. pp. 629–635, 2000.

_____. The adaptive markets hypothesis. **The Journal of Portfolio Management**, v. 30, n. 5, p. pp. 15–29, 2004.

LO, A. W. Efficient markets hypothesis. *In*: DURLAUF, S. N.; BLUME, L. E. (Eds.). **The New Palgrave Dictionary of Economics**. Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2008. .

LO, A. W.; MACKINLAY, A. C. Stock Market Prices do not Follow Random Walks: Evidence from a Simple Specification Test. **The Review of Financial Studies**, v. 1, n. 1, p. pp. 41–66, 1988.

MALKIEL, B. G. The efficient market hypothesis and its critics. **The Journal of Economic Perspectives**, v. 17, n. 1, p. pp. 59–82, 2003.

MANDELBROT, B. B.; HUDSON, R. L. **The Misbehavior of Markets: A fractal view of financial turbulence**. [s.l.] Basic books, 2007.

MANDELBROT, B. B.; WALLIS, J. R. Robustness of the rescaled range R/S in the measurement of noncyclic long run statistical dependence. **Water Resources Research**, v. 5, n. 5, p. pp. 967–988, 1969.

MEESE, R. A.; ROGOFF, K. Empirical exchange rate models of the seventies: Do they fit out of sample? **Journal of International Economics**, v. 14, n. 1–2, p. pp. 3 – 24, 1983.

MOREIRA, J.; SILVA, J. K. L. DA; KAMPHORST, S. O. On the fractal dimension of self-affine profiles. **Journal of Physics A: Mathematical and General**, v. 27, n. 24, p. pp. 8079–8089, 1994.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de Séries Temporais**. 2^a. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2006.

MUNDELL, R. A. Capital Mobility and Stabilization Policy under Fixed and Flexible Exchange Rates. **The Canadian Journal of Economics and Political Science / Revue canadienne d'Economie et de Science politique**, v. 29, n. 4, p. pp. 475–485, 1963.

PENG, C.-K. *et al.* Mosaic organization of DNA nucleotides. **Physical Review E**, v. 49, n. 2, p. pp. 1685–1689, 1994.

QIAN, B.; RASHEED, K. Foreign exchange market prediction with multiple classifiers. **Journal of Forecasting**, v. 29, n. 3, p. 271–284, 2010.

SÁNCHEZ-GRANERO, M.; FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, M.; TRINIDAD-SEGOVIA, J. Introducing fractal dimension algorithms to calculate the Hurst exponent of financial time series. **The European Physical Journal B**, v. 85, n. 3, p. 1–13, 2012.

SANTOS, C. C. O. M. DOS. **Método de Fractais em Finanças: uma aplicação ao IBOVESPA**. Brasília: Univesridade de Brasília, 2011.

SOUZA, S. R. S.; TABAK, B. M.; CAJUEIRO, D. O. Investigação da Memória de Longo Prazo na Taxa de Câmbio no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, v. 60, n. 2, p. pp. 193–209, nov. 2006.

TEAM, R. C. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria: [s.n.].

TEVEROVSKY, V.; TAQQU, M. S.; WILLINGER, W. A critical look at Lo's modified R/S statistic. **Journal of statistical Planning and Inference**, v. 80, n. 1, p. 211–227, 1999.

THORSTENSEN, V.; MARÇAL, E.; FERRAZ, L. Exchange Rate Misalignments and International Trade Policy: Impacts on Tariffs. **Journal of World Trade**, v. 46, n. 3, p. pp. 597–634, 2012.

VENTURA, A.; GARCIA, M. Mercados futuro e à vista de câmbio no Brasil: o rabo abana o cachorro. **Revista Brasileira de Economia**, v. 66, n. 1, p. 21–48, 2012.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introdução à econometria: uma abordagem moderna**. 1^a. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2006.

APÊNDICE

Códigos utilizados para a estimação do índice de Hurst:

```
#Embaralhamento dos dados
```

```
setwd("C:/Users/Pedro/Desktop")
```

```
x = read.csv("retornos.txt", sep="\t", dec=",")
```

```
data = x[1:4450,]
```

```
matriz = matrix(data$Retornos, nrow=10, ncol=445, byrow=F)
```

```
set.seed(123)
```

```
matriz = matriz[sample(nrow(matriz)),]
```

```
vetor = as.vector(matriz)
```

```
dados = cbind(x$Data[1:4450], vetor)
```

```
#Usando os dados embaralhados
```

```
dados=read.table("C:/Users/Deuziete/Desktop/Monografia/Dados/retornosembaralhados.txt", head=T, dec=",")
```

```
attach(dados)
```

```
#Criando uma série de tempo
```

```
datas <- as.Date(Data, "%d/%m/%Y")
```

```
library(zoo)
```

```
retornos.ts<-zoo(Retornos, datas)
```

```
#Aplicando uma janela móvel à função hurst
```

```
library(pracma)
```

```
x<-rollapply(retornos.ts, 1008, hurst, by=1)
```

```
#Gráfico das estimativas
```

```
plot(x, type="l", col="black", lwd=1, ylab="", xlab="", main="Expoente de Hurst",  
cex.lab=1.5, cex.axis=1.5, cex.main=1.5)
```

```
abline(h=0.45, lty=3)
```

```
abline(h=0.5, lty=3)
```

```
abline(h=0.55, lty=3)
```

```
abline(h=0.6, lty=3)
```

```
abline(h=0.65, lty=3)
```

```
abline(h=0.7, lty=3)
```

```
#Estatísticas descritivas
```

```
library(moments)
```

```
summary(x)
```

```
sd(x)
```

```
skewness(x)
```

```
kurtosis(x)
```

```
length(x)
```

```
#Histograma das estimativas obtidas
```

```
hist(x, breaks=50, ylab="", xlab="", main="Frequência dos valores obtidos para o  
expoente de Hurst", cex.lab=1.5, cex.axis=1.5, cex.main=1.5)
```