



Ariel Levy¹

Coelho, Hellen Valente¹

Eduardo Camilo da Silva¹

Levy, Arthur²

¹Universidade Federal Fluminense

²Universidade Estadual de Campinas

ANÁLISE DE FLUTUAÇÃO DESTENDENCIADAS PARA OS ÍNDICES BOVESPA E S&P500 DE 1999 A 2018

Resumo

O método da análise de flutuação destendenciadas é utilizado para detectar longa dependência em séries temporais não estacionárias e classificadas através do expoente de Hurst. Aplicou-se o método sobre dois índices de mercado de ações, em janelas temporais não superpostas, utilizando a função DFA da biblioteca fractal da linguagem de programação R, e obteve-se o expoente de Hurst para cada período. A trajetória do expoente de Hurst corrobora com a eficiência do mercado para os índices IBOVESPA e S&P 500 para o período de 1999 a 2015. Esse período coincide com a bolha das commodities e sua exploração financeira para fins de proteção e especulação. Durante o período analisado ocorreram crises e escândalos que tornaram os mercados mais atentos aos instrumentos de proteção, e atentos aos desvios na condução da política fiscal dos países envolvidos. Entretanto, o expoente de Hurst aponta para menor eficiência do mercado, com reversão da tendência e presença de memória longa nas séries de preços destes dois índices, a partir de 2016, o que poderia indicar a formação de tendências que podem reverter aleatoriamente.

Palavras-chave: DFA, Expoente de Hurst, IBOVESPA, S&P500.

Abstract

Detrending Fluctuation Analysis method is used to detect long dependence in non-stationary time series and classified through the Hurst exponent. The method was applied on two stock market indexes, in non-overlapping time windows, using the DFA function from the fractal library of R programming language, and computing the Hurst exponent for each period. The Hurst exponent trajectory corroborates the market efficiency for the IBOVESPA and S & P 500 indexes from 1999 to 2015. This period coincides with the commodities bubble and its financial exploitation for protection and speculation purposes. During the analysed time period there were also major crises and scandals that made markets more aware of hedge the instruments, and forsee for worsed of fiscal policies for both countries involved. However, the Hurst exponent points to lower market efficiency, with a reversal trend and long memory presence, for both index time series since 2016, which may indicate randomly end up trends.

Keywords: DFA, Hurst exponent, IBOVESPA, S&P500.



Introdução

A literatura sobre eficiência dos mercados prolifera desde que Fama (1963,1970) estabeleceu a Hipótese de Eficiência dos Mercados, EMH - Efficiency Market Hypothesis. Mandelbrot (1971) foi pioneiro ao discutir a existência de memória longa nos mercados.

Cajueiro e Taback (2003) apontam que existência destas memórias causam diversas desvantagens a economia e finanças, e concluíram naquele estudo que os mercados emergentes estariam tornando-se mais eficientes. Apontavam ainda para as diferenças entre os mercados desenvolvidos e os emergentes e os efeitos destas características.

Neste trabalho revisitamos o tema, com aplicação do o método da análise de flutuações destendenciadas - DFA – Detrend Fluctuation Analysis - a partir de janelas de tempo deslizantes, aos índices Bovespa e S&P500 para buscar correlação das alterações com os movimentos da credibilidade atribuída a economia e política brasileiras. Além, de utilizar o S&P500 para um *benchmarking*, com a principal economia mundial, a norte-Americana.

A utilização do DFA em análises mercado não é uma inovação. A literatura é extensa e ainda assim apresenta-se como um campo profícuo de pesquisa (Barkoulas, 2000; Cajueiro e Taback,2003; Matia,2003; Ferreira, 2018a; Ferreira, 2018b, Teng e Shang,2018), tampouco inova a sua utilização de janelas deslizantes associadas ao método (Wang e Gu, 2009; Ferreira, 2018b). Contudo, são menos frequentes em análise dos mercados no Brasil. O método é dos mais utilizados em análises de correlação de séries temporais não estacionárias.

Este trabalho contribuí para a literatura ao visitar a teoria de DFA e explicitar os movimentos dos mercados quanto a troca de seus comportamentos em relação a memória longa, expressos pela alteração expoente de Hurst correlacionando-os as suas alterações aos momentos da política econômica brasileira e dos Estados Unidos da América, bem como ao das commodities, além de apresentar as facilidades na utilização das bibliotecas da linguagem R na condução das análises econômico financeiras.

Objetivo

Correlacionar os movimentos da economia as alterações de memória longa verificados nos índices de ações IBOVESPA e S&P500 a partir da análise dinâmica do expoente de Hurst. Como objetivo secundário divulgar a utilização do R e suas bibliotecas.

Material e Método

As séries temporais dos índices IBOVESPA (ABVSP), figura 1, e S&P 500 (AGSPC), figura 2, foram obtidas diretamente do Yahoo com a utilização do software R e da biblioteca *quantmod*. O período examinado foi de 1999 a 2018, compreende o período do *boom* das commodities (2000-2014), a crise do *Subprime* (2007) nos EUA, e a crise na zona do Euro. Este período se observado pela ótica dos governos brasileiros compreende desde o Governo de Fernando Henrique Cardoso (1995-2003), o primeiro e segundo mandato de Luís Inácio Lula da Silva (2003-2011) e o primeiro e segundo mandato de Dilma Rousseff (2011-2016), terminado precocemente pelo impeachment e finaliza no governo Temer (2016 – ainda em curso).

O hidrólogo britânico Harold E. Hurst (1951), ao pesquisar a existência de memória longa na série temporal das vazões do Nilo, propôs um método de quantificação, o expoente de Hurst (H) = 0,5 representaria uma série cujo valor atual não dependeria de seus valores passados, denotada como browniana, ou descorrelacionada. Se o valor do expoente estivesse no intervalo $0 < H > 0,5$ então caracterizaria uma série antipersistente, que apresenta características de reversão a média.

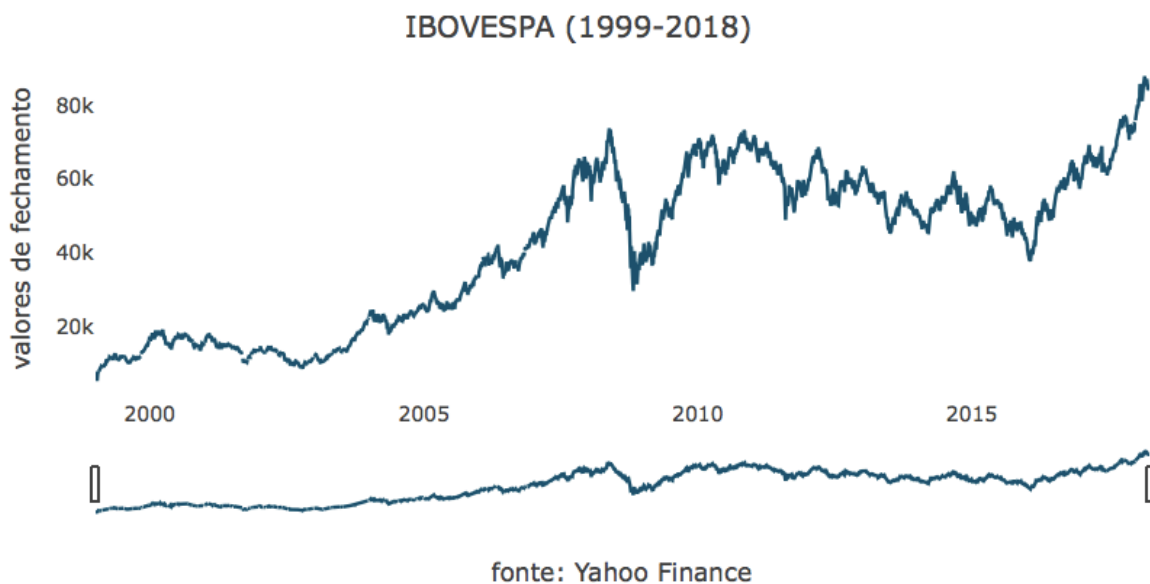


Figura 1- Índice IBOVESPA preços de fechamento de 1999-2018 – Gráfico produzido com a biblioteca *TSstudio*, do R.

Fonte: autoria própria

E se a série estivesse no intervalo $0,5 < H < 1$ as séries apresentariam movimentos de subida e descida por um período mais prolongado, com a presença de tendências que

podem ser abortadas erraticamente em interrupções abruptas. O poder de manutenção da tendência se amplia a medida que o expoente se aproxima da unidade. Uma revisão detalhada da literatura pode ser obtida em Mitra (2012).

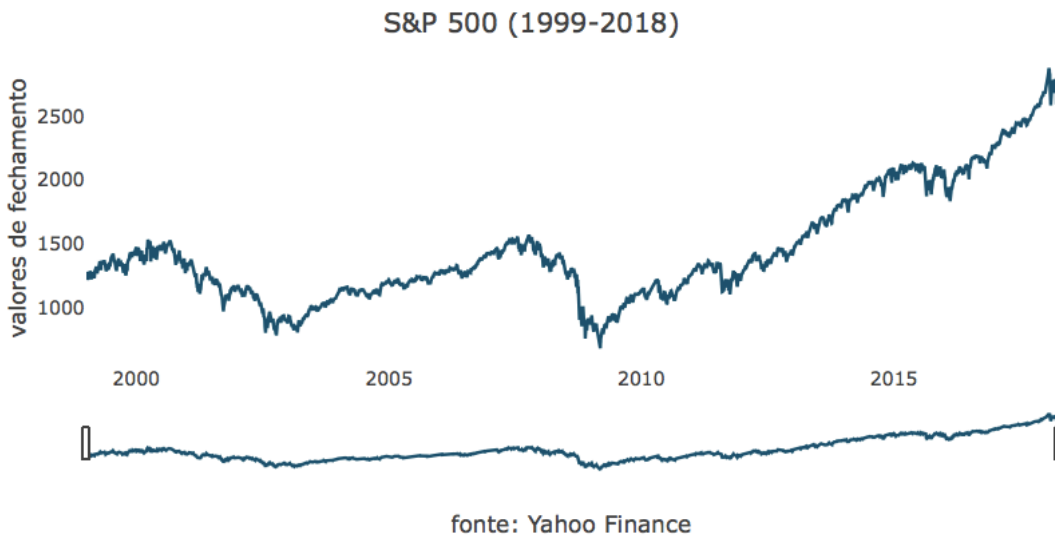


Figura 2 – S&P500 preços de fechamento de 1999 a 2018 – Gráfico produzido com a biblioteca *TSstudio*, do R.

Fonte: autoria própria

A DFA foi criado por Peng et al. (1994) para a quantificação de correlações em séries temporais, não estacionárias, de fenômenos fisiológicos. O método se mostrou preciso para o cálculo do expoente de Hurst. Como o método foi idealizado para utilizar séries não estacionárias optou-se por trabalhar diretamente nos preços de fechamento, mas poderíamos ter utilizado igualmente os retornos logarítmicos cujas séries normalmente se apresentam estacionárias para os ativos financeiros.

Seguem-se as etapas para o cálculo do expoente de Hurst:

- 1- A série estudada $x(i)$, onde $i = 1, 2, 3, \dots, N$, integra-se o sinal $x(i)$ e obtêm-se $y(k)$, $y(k) = x(i) - \langle x \rangle$ (1)

Onde $\langle x \rangle$ é a média do sinal $x(i)$

- 2- Em seguida particiona-se em frações temporais o sinal integrado e ajusta-se por meio de uma função polinomial de grau 1, de grau unitário no nosso estudo.
- 3- Em seguida o sinal $y(k)$ é subtraído de $y_n(k)$ que representa a tendência local em cada partição.
- 4- Depois disso calculam-se as flutuações para as partições de cada tamanho n

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [y(k) - y_n(k)]^2} \quad (2)$$

5- Para obter o expoente faz-se uma regressão simples entre o log de $F(n)$ e o $\log(n)$ onde o coeficiente angular é o expoente.

No procedimento com o programa R utilizou-se a biblioteca *fractal* cuja função DFA está ajustada ao cálculo proposto por Peng et.al (1994).

Nos cálculos realizados com o programa R utilizou-se a biblioteca *fractal* cuja função DFA está ajustada ao cálculo proposto por Peng et.al (1994). Alguns cuidados são necessários no estabelecimento das partições quanto em termos do número de observações, mas encontram-se bem documentadas no manual da biblioteca, pacote, acessível a partir do *vignette* disponível no CRAN. A escala utilizada foi a sugerida como padrão pela biblioteca.

Resultados e Discussão

O procedimento do cálculo descrito foi aplicado aos períodos de 4 anos justapostos calculando-se o expoente para cada um deles, para cada índice, com início em 1999.

Na tabela 1 encontram-se as janelas de seis períodos não superpostos para os quais examinaremos a evolução do expoente de Hurst que igualmente pode ser visualizado no gráfico 3.

Tabela 1 - Evolução do Expoente de Hurst (H) (1999-2018)

Período	Início	Fim	H	
			S&P500	Bovespa
1	1999	2002	0.539	0.539
2	2003	2006	0.514	0.506
3	2007	2010	0.503	0.499
4	2011	2014	0.479	0.487
5	2014	2016	0.450	0.478
6	2016	2018	0.516	0.568

Fonte: LEVY et al., 2018.

O expoente de Hurst no início do período de análise apresenta-se no intervalo $0,5 < H < 1$ em que a memória longa existe e os preços dependem do passado, mas em trajetória ao valor que caracteriza o mercado eficiente, $H = 0,5$. Talvez por isso a conclusão de Cajueiro e Taback (2004) de que os mercados emergentes, tornavam-se mais eficientes.

Os índices encontram-se muito próximos aos valores que corroboram para hipótese de eficiência do mercado entre 2006 e 2011. De 2011 a 2014 o expoente de Hurst parece seguir a tendência anterior reduzindo-se para ambos os índices o valor, entrando no intervalo $0 < H < 0,5$ que caracteriza um processo de reversão a média.

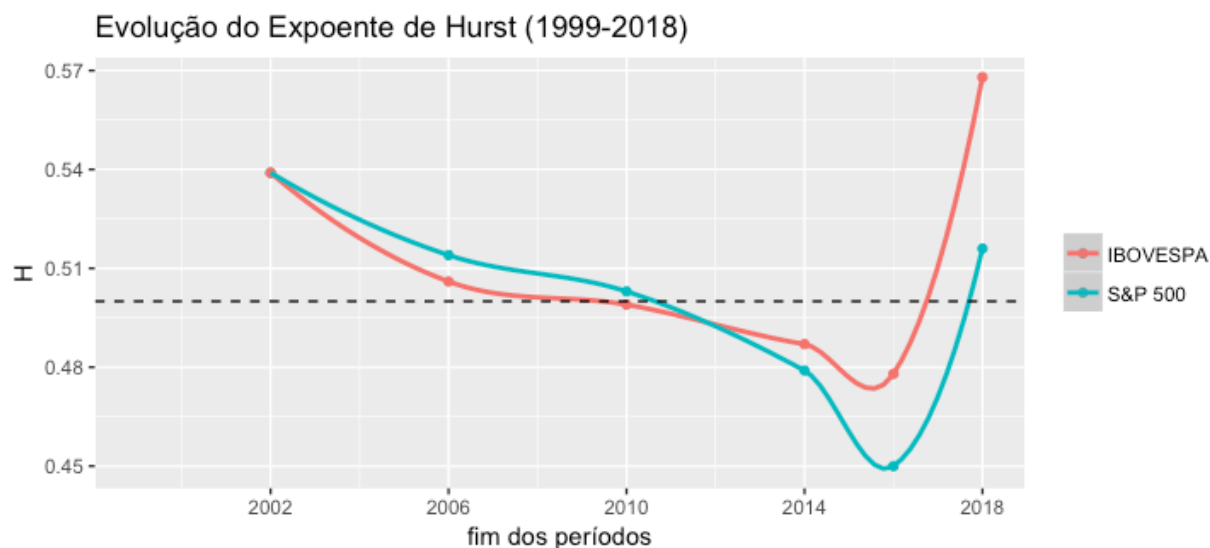


Figura 3 – Evolução do Expoente de Hurst (1999 a 2018) – Gráfico produzido com a biblioteca *fractal* e *ggplot2*, do R.

Fonte: autoria própria

No período que se segue 2011 a 2014, a tendência de redução se acentua e em meados de 2016 ambos, com pequena defasagem, apresentam a reversão da tendência com abrupto crescimento do valor do expoente.

Em função do impeachment de Dilma Rousseff o período de 2014 a 2018 foi dividido em dois de 10/01/2016 a 31/08/2016 e outro que se seguiu com o governo Michel Temer ainda em andamento. Quando o enfoque são os EUA igualmente torna-se interessante a mesma divisão no período seis pela marcante campanha e influência nos mercados produzidos pela candidatura vitoriosa de Trump.

O governo Trump foi precedido pelo Obama que tinha um maior cuidado nas questões sociais. Se analisarmos desde o início do século a economia americana vem sendo abalada por crises e escândalos que levaram seu governo a uma maior preocupação com a população de menor renda. Também desde início do século experimentaram maior inflação, guerras, e a bolha das commodities. Contudo os mercados estavam em crescimento até a crise Subprime (setembro 2008) ainda no governo Bush.



O Brasil, por sua vez, vinha sendo beneficiado pelo crescimento chinês que determinava uma valorização das commodities, e em 2003 Lula eleito para seu primeiro mandato marcado por um forte avanço nas políticas sociais, que facilitaram sua reeleição para mais um mandato.

Ambos os países tiveram no período anterior a ruptura dificuldades na manutenção de expectativas com relação ao déficit das contas públicas no período (2014-2016).

Por outro lado, o período 1999-2015 apresenta-se caracterizado na literatura como o *boom* das *commodities*, em especial do petróleo, principal fonte de energia mundial, que seguiu apresentando crescimento dos preços até atingir a impressionante cotação de US\$140/ barril. Neste período de vigoroso crescimento de preços das commodities ocorreu sua financeirização, diferenciando a forma como os mercados operavam, com forte proteção para inflação de custos. As *commodities* tem seu processo de preços como de reversão a média (GIBSON e SCHWARTZ, 1990; PINDYCK, 1999; SCHWARTZ, 1997; SCHWARTZ e SMITH, 2000), e possivelmente influenciaram a trajetória de queda do expoente de Hurst para estes índices já que o IBOVESA tem grande parte dos ativos atrelados a exploração de commodities e estas são normalmente integrantes dos custos, direta o indiretamente das indústrias representadas no S&P500. Ao fim do boom das commodities, a trajetória dos expoentes reverte e o expoente retorna valores próximos ao do início do período analisado, superiores a 0,5 e com trajetória de subida onde a sustentação dos preços não mais traduz a eficiência de mercado e as trajetórias destes pode ser descontinuada aleatoriamente.

Conclusão

A análise de flutuações destendenciadas possibilita a quantificação de correlações em séries temporais, não estacionárias. O expoente de Hurst pode ser facilmente calculado com o método, cujo o cálculo é possível com a função “DFA” da biblioteca *fractal* do programa R.

Apesar das evidências empíricas de que os movimentos de preço das *commodities* influenciaram o comportamento do expoente, também há as evidências de que as políticas econômicas parecem ter tido influência na condução do comportamento dos mercados expressos por estes dois índices.

Em estudos futuros sobre o tema sugere-se a ampliação do foco para outros países e a utilização de métodos como o DCCA - *Detrended Cross-Correlation Analysis*.



Referências

- BARKOULAS, John T. e BAUM, Christopher F. e TRAVLOS, Nickolaos. **Long memory in the Greek stock market**. Applied Financial Economics, v. 10, n. 2, p. 177–184, 2000.
- CAJUEIRO, Daniel O. e TABAK, Benjamin 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. 3–4, p. 521–537, 2004.
- CHAN-LAU, Jorge Antonio e MITRA, Srobona e ONG, Li Lian. **Identifying contagion risk in the international banking system: An extreme value theory approach**. International Journal of Finance and Economics, v. 17, n. 4, p. 390–406, 2012.
- FAMA, E. F. **Efficient Capital Markets-A Review of Theory and Empirical Work**. The Journal of Finance, v. 25, n. 2, p. 383–417, 1970. Disponível em: <http://books.google.de/books?id=ox48PAAACAAJ&dq=intitle:Efficient+Capital+Markets+A+Review+of+The+ory+and+Empirical+Work&hl=&cd=1&source=gb_api>.
- FAMA, Eugene F. **MANDELBROT AND THE STABLE PARETIAN HYPOTHESIS**. The Journal of Business, v. 36, n. 4, p. 420–429, 1963. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2350971><http://www.jstor.org/%5Cnhttp://www.jstor.org/action/showPublisher?publisherCode=ucpress.%5Cnhttp://www.jstor.org>>.
- FERREIRA, Paulo e colab. **A sliding windows approach to analyse the evolution of bank shares in the European Union**. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, v. 490, p. 1355–1367, 2018.
- HADLEY WICKHAM. **R Package - tidyverse**. . [S.l: s.n.] , 2017
- HADLEY WICKHAM, JENNIFER BRYAN, MARCIN KALICINSKI , KOMAROV VALERY, CHRISTOPHE LEITIENNE, BOB COLBERT, DAVID HOERL. **R Package - readxl**. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/readxl/index.html>>. , 2017
- HADLEY WICKHAM, WINSTON CHANG, Rstudio. **R Package - ggplot2**. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2/index.html>>. , 2016
- HURST, H.E. **Long-term storage capacity of reservoirs**. Transactions of the American Society of Civil Engineers, v. 116, p. 770–799, 1951.
- JEFFREY A. RYAN, JOSHUA M. ULRICH, WOUTER THIELEN, Paul Teetor. **R Package - quantmod**. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/quantmod/index.html>>. , 2017
- MANDELBROT, Benoit B. **When Can Price Be Arbitrated Efficiently? A Limit to the Validity of the Random Walk and Martingale Models**. The Review of Economics and Statistics, v. 53, n. 3, p. 225–36, 1971.
- MATIA, K. e ASHKENAZY, Y. e STANLEY, H. E. **Multifractal properties of price fluctuations of stocks and commodities**. Europhysics Letters, v. 61, n. 3, p. 422–428, 2003.
- PENG, C. K. e colab. **Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series**. Chaos, v. 5, n. 1, p. 82–87, 1995.
- RAMI KRISPIN. **R Package - tsStudio**. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/TStudio/index.html>>. , 2018
- R Programming**. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/>>. , 2018
- RStudio Desktop**. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.rstudio.com/>>. , 2018
- TENG, Yue e SHANG, Pengjian. **Detrended fluctuation analysis based on higher-order moments of financial time series**. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, v. 490, p. 311–322, 2018.
- WANG, Yudong e LIU, Li e GU, Rongbao. **Analysis of efficiency for Shenzhen stock market based on multifractal detrended fluctuation analysis**. International Review of Financial Analysis, v. 18, n. 5, p. 271–276, 2009.
- WILLIAM CONSTANTINE, Donald Percival. **R Package - fractal**. . [S.l: s.n.]. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/fractal/index.html>>. , 2017



Anexo

#script1 – Obtenção das séries e gráfico para o período de análise

```
library(TSstudio)

library(quantmod)

tckrs <- c("^BVSP", "^GSPC") # para baixar outros basta ampliar o vetor com os tickers

getSymbols(tckrs,

           from = "1999-01-01",

           to = "2018-03-30",

           src = "yahoo")

ibovespa.close <- BVSP$BVSP.Close

sp500.close <- GSPC$GSPC.Close

ts_plot(ibovespa.close,

        title = "IBOVESPA (1999-2018)",

        Xtitle = "fonte: Yahoo Finance",

        Ytitle = "valores de fechamento",

        slider = TRUE

)

ts_plot(sp500.close,

        title = "S&P 500 (1999-2018)",

        Xtitle = "fonte: Yahoo Finance",

        Ytitle = "valores de fechamento",

        slider = TRUE

)
```

#sript2 – uso do pacote fractal

```
library(quantmod)

library(fractal)

tckrs <- c("^GSPC") # para baixar outros basta ampliar o vetor com os tickers.
```



```
#as datas dos períodos de análise poderiam ser automatizadas mas por serem poucos  
# deixamos o exercício para o leitor
```

```
getSymbols(tckrs,
```

```
  from = "1991-04-03",
```

```
  to = "2016-08-05",
```

```
  src = "yahoo")
```

```
# optou-se por excluir os dias sem pregão outros tratamentos são possíveis
```

```
index_SP<-as_tibble(GSPC$GSPC.Close[complete.cases(GSPC$GSPC.Close)])
```

```
poly_order=1 #teste
```

```
scale_min<-poly_order*2+1
```

```
scale_max<-trunc(length(index_SP$GSPC.Close))/2
```

```
DFA.SP500_fractal2 <- DFA(index_SP$GSPC.Close,
```

```
  detrend="poly1",scale.min= scale_min,scale.max = scale_max, sum.order=0)
```

```
plot(DFA.SP500_fractal2)
```

```
print(DFA.SP500_fractal2)
```

```
#script3 – plot da evolução do expoente de Hurst
```

```
library(ggplot2)
```

```
library(readxl)
```

```
dfa_SP_BV$indice<-as.factor(dfa_SP_BV$indice)
```

```
levels(dfa_SP_BV$indice)<-c("IBOVESPA","S&P 500")
```

```
b=ggplot(dfa_SP_BV, aes(x=fim, y=as.numeric(H), color = indice)) +
```

```
  scale_x_continuous(limits = c(1999,2018), breaks=seq(2002,2018,4))+
```

```
  geom_point()+
```

```
  geom_smooth()+
```

```
  labs(title="Evolução do Expoente de Hurst (1999-2018)", x="fim dos períodos",
```

```
  y= "H")+
```

```
  scale_fill_discrete(breaks = rev(c(levels(dfa_SP_BV$indice),0.5)))
```



III Seminário Internacional de Estatística com R
R for Science Integration Challenge
Niterói-RJ-Brasil - 22,23 e 24 de maio de 2018



```
b<-b+theme(legend.title = element_blank())
```

```
b<-b+geom_hline(aes(yintercept = 0.5),linetype="dashed")
```

```
b
```