

Correlações em séries temporais de preços de frango, soja e milho

Correlations in time series of chicken, soy and corn prices

Correlaciones en series temporales de precios de pollo, soja y maíz

Recebido: 17/03/2021 | Revisado: 23/03/2021 | Aceito: 29/03/2021 | Publicado: 06/04/2021

Ruben Vivaldi Silva Pessoa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1469-5918>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: ruben.vspessoa@ufpe.br

Ikaro Daniel de Carvalho Barreto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7253-806X>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: daniel.carvalho.ib@gmail.com

Lidiane da Silva Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3111-7925>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: lidiane_sac@hotmail.com

Guilherme Rocha Moreira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6344-1151>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: guirocham@gmail.com

Tatijana Stosic

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5691-945X>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: tastosic@gmail.com

Borko Stosic

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5031-6968>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: borkostosic@gmail.com

Resumo

A evolução do mercado agrícola brasileiro alterou o processo de produção, exportação e consumo de *commodities* alimentares. Com isso, novos estudos acerca da relação entre o mercado de alimentos e outros mercados foram desenvolvidos, buscando explicar a ligação entre os preços de *commodities* agrícolas e não agrícolas. Visando contribuir para esse estudo, foram investigadas as correlações de longo prazo entre os preços de *commodities* agrícolas brasileiras, utilizando técnicas de Econofísica. Analisaram-se então as séries diárias de preços e retorno de preços da carne de frango, soja e milho, registrados entre 02/08/2004 e 16/06/2017 pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / Universidade de São Paulo - CEPEA/ESALQ/USP. As correlações entre as séries temporais foram investigadas utilizando os métodos *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA) e *Detrended Cross Correlation Analysis* (DCCA), para calcular o *Detrended Cross Correlation Coefficient* (DCCA Coefficient), que serve para quantificar correlações de longo prazo entre séries temporais não estacionárias. Os resultados obtidos apontam para a ausência de correlações nas escalas de até 30 dias e, para escalas maiores, acusam correlações mais fortes entre os preços de frango e milho que entre os preços de frango e soja. Após a crise alimentar de 2008, entretanto, as correlações entre as séries diárias de retorno de preços do frango e do milho diminuíram, enquanto que, entre as de frango e soja, aumentaram nas escalas menores e diminuíram nas escalas maiores.

Palavras-chave: *Commodities; Detrended cross correlation analysis; Detrended cross correlation coefficient; Crise alimentar.*

Abstract

The evolution of the brazilian agricultural market has changed the process of production, export and consumption of food commodities. In view of that, new studies on the relationship between the food market and other markets were developed, seeking to explain the link between the prices of agricultural and non-agricultural commodities. In order to contribute to this study, the intrinsic long-term correlations between the prices of brazilian food markets were investigated, using Econophysics techniques. The daily series of prices and price return of chicken meat, soybeans and corn, recorded between 02/02/2004 and 06/16/2017 by the Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / Universidade de São Paulo - CEPEA/ESALQ/USP, were, therefore, investigated. The correlations between the time series were analysed using the methods *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA) and *Detrended Cross Correlation Analysis* (DCCA), to calculate the *Detrended Cross Correlation Coefficient* (DCCA Coefficient), which serve to quantify long term cross correlations between non-stationary time

series. The results point to the absence of cross correlations for temporal scales up to 30 days and, for larger scales, indicate correlations between chicken and corn prices stronger than between chicken and soy prices. After the 2008 food crisis, however, the correlations between the daily series of chicken meat and corn price return decreased, while in the case of chicken and soy, the correlations increased on the small scales and decreased on the larger ones.

Keywords: Commodities; Detrended cross correlation analysis; Detrended cross correlation coefficient; Food crisis.

Resumen

La evolución del mercado agrícola brasileño ha cambiado el proceso de producción, exportación y consumo de productos alimenticios. Con esto, se han desarrollado nuevos estudios sobre la relación entre el mercado de alimentos y otros mercados, buscando explicar el vínculo entre los precios de *commodities* agrícolas y no agrícolas. Con el objetivo de contribuir a este estudio, fueron investigadas aquí las correlaciones intrínsecas de largo plazo entre los mercados de alimentos brasileños, utilizando técnicas de Econofísica. Así, se analizaron las series diarias de precios y retorno de precios de la carne de pollo, soja y maíz registradas entre 02/02/2004 y 16/06/2017 por el Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / Universidade de São Paulo - CEPEA/ESALQ/USP. Las correlaciones se analizaron utilizando los métodos *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA) y *Detrended Cross Correlation Analysis* (DCCA), para calcular el *Detrended Cross Correlation Coefficient* (DCCA Coefficient), que sirve para cuantificar las correlaciones cruzadas a largo plazo entre series temporales no estacionarias. Los resultados apuntan a la ausencia de correlaciones cruzadas para escalas temporales de hasta 30 días y, para escalas mayores, indican correlaciones más fuertes entre los precios de pollo y maíz que entre los precios de pollo y de soja. Después de la crisis alimentaria de 2008, entretanto, las correlaciones entre las series diarias de retorno de precios del pollo y del maíz disminuyeron, mientras que, entre las de pollo y soja, aumentaron en las escalas menores y disminuyeron en las escalas mayores.

Palabras clave: Commodities; Detrended cross correlation analysis; Detrended cross correlation coefficient; Crisis alimentaria.

1. Introdução

Ao longo das últimas décadas, especialmente após o advento do Plano Real (1994) no Brasil, o consumo doméstico de carne de frango aumentou principalmente devido à estabilidade econômica e à melhoria das condições de renda da população. Em 2018 ele chegou a 42 kg *per capita*, superando o consumo de outras fontes de proteína animal como carne bovina e suína (EMBRAPA, 2020). A produção e exportação de carne de frango no Brasil também se encontram em constante crescimento desde o fim do século XX. Em 2018, a produção dessa *commodity* no País foi de 13,355 milhões de toneladas, representando a segunda maior produção do mundo (atrás apenas dos EUA) com 14% da produção mundial (USDA, 2021). No mesmo ano, o Brasil também foi o maior exportador mundial, com 3,687 milhões toneladas, representando 33% da exportação mundial e 28% da produção avícola brasileira (EMBRAPA, 2020).

As variações de preço da carne de frango podem ter impacto negativo na receita de grande parte da população brasileira. O valor da carne de frango depende principalmente do custo de sua dieta, que representa cerca de 70% do custo total de produção. Considerando que tal dieta se baseia em rações formuladas com milho e farelo de soja, e estes passam por variações de preços durante o ano devido à sazonalidade de produção, o preço da carne de frango também sofrerá com a variabilidade de preço desses insumos (Araújo, 2019).

Assim, espera-se que os mercados agrícolas se influenciem mutuamente por meio de interações complexas que incluem fatores exógenos como preços do petróleo, condições climáticas, produção de biocombustíveis e taxa de câmbio, dificultando a escolha de uma abordagem quantitativa apropriada para o estudo da relação entre seus preços. Embora métodos estatísticos ainda sejam a ferramenta básica para estudar correlações e transmissões de preços entre mercados agrícolas (Beckmann & Czudaj, 2014; Nicola, De Pace, & Hernandez, 2016), o campo da Econofísica (com o auxílio de métodos e modelos baseados na mecânica estatística) gera novos conhecimentos para melhor compreensão das variações e relações dos preços das *commodities* agrícolas dentro desse mercado e com outros mercados (Liu, 2014; Pal & Mitra, 2018; Lima *et al.*, 2019).

Tendo em vista esses relatos, o estudo aqui realizado tem como objetivo utilizar a abordagem econofísica para estudar a interdependência de preços na cadeia produtiva brasileira de aves: preços da carne de frango e dos insumos soja e milho. Para

cada par de *commodities*, investigaram-se as correlações cruzadas de longo prazo entre seus preços usando os métodos *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA) (Peng *et al.*, 1994) e *Detrended Cross Correlation Analysis* (DCCA) (Podobnik & Stanley, 2008) para calcular o coeficiente ρ_{DCCA} (*Detrended Cross Correlation Coefficient – DCCA Coefficient*), que quantifica correlações cruzadas em diferentes escalas temporais (Zebende, 2011).

2. Metodologia

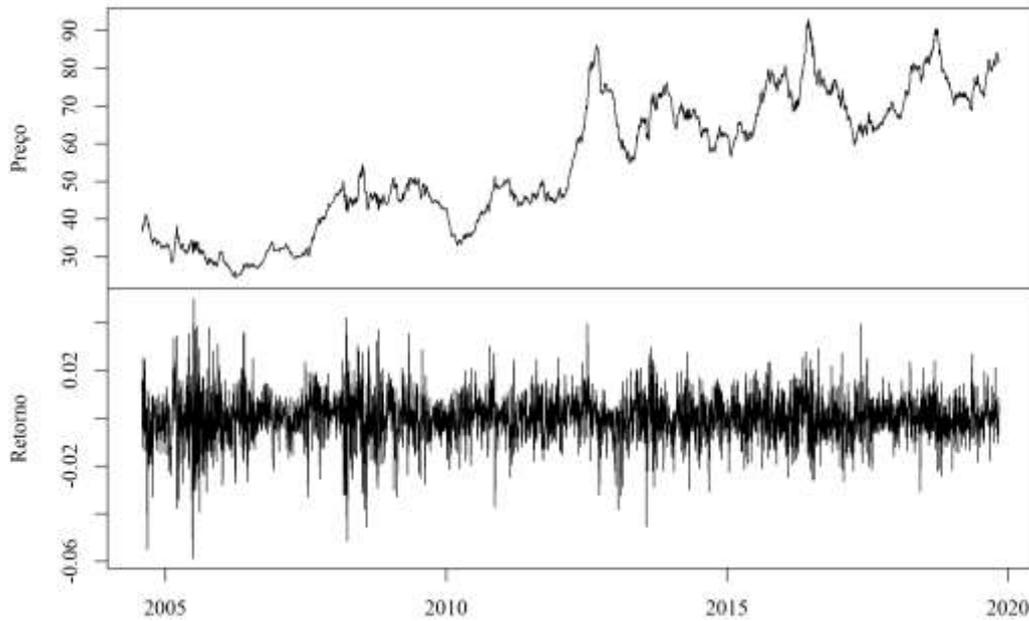
O procedimento realizado neste artigo para investigar possíveis correlações entre os dados das séries temporais de interesse é de natureza quantitativa e qualitativa. O estudo teve início pela análise descritiva dos dados. Em seguida, aplicaram-se os métodos DFA e DCCA para a obtenção do coeficiente de correlação cruzada sem tendência (coeficiente DCCA) cujo valor viabiliza as análises quantitativa e qualitativa das correlações entre os dados. Essas técnicas, descritas mais adiante nesta seção, foram aqui implementadas com o uso de um *software* próprio, desenvolvido nas linguagens C de programação, e do *software* R Core Team (2020).

2.1 Descrição dos dados

Os dados utilizados foram os preços diários expressos em reais (R\$) de milho (saca de 60 kg), soja (saca de 60 kg) e carne de frango (kg) registrados no período de 02 de agosto de 2004 a 16 de junho de 2017. As séries de dados foram obtidas no Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / Universidade de São Paulo - CEPEA / ESALQ / USP (CEPEA/ESALQ/USP, 2020). Para tais dados, foram também analisadas as séries diárias de retorno de preço R_t , em que $R_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1})$, com P_t representando o preço da *commodity* no dia t . As séries temporais originais e de retorno dos preços da soja, do milho e da carne de frango são mostradas nas Figuras 1, 2 e 3, respectivamente.

A Figura 1 apresenta o comportamento das séries temporais, original e de retorno, dos preços diários da soja para o período analisado. Na análise da série original, observa-se a diminuição do preço da soja no início do período até o mês de abril de 2006, subindo após esse período, mas apresentando nova queda em 2009, depois da crise financeira global. Após esse período sob os efeitos da crise, o preço volta a subir em 2010 e alcança valores maiores em 2012, mostrando em seguida oscilações entre os valores mais altos. Para a série temporal de retorno dos preços, é possível observar períodos, como o da crise, em que os retornos são maiores.

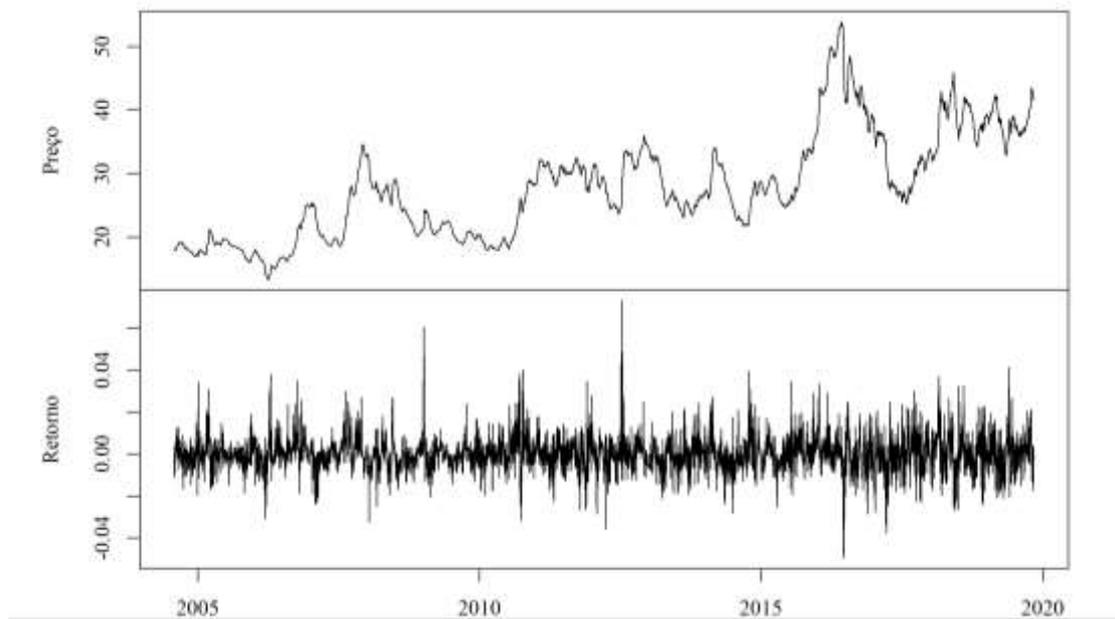
Figura 1. Séries temporais, original e de retorno, dos preços da soja.



Fonte: Autores, a partir dos dados do CEPEA.

A Figura 2 apresenta o comportamento das séries temporais, original e de retorno, dos preços diários do milho para o período analisado. Na série original, observa-se o aumento de preço do milho, de abril a dezembro de 2006, mas desde o início da crise financeira global de 2008 os preços voltaram a cair, apresentando recuperação apenas no segundo semestre de 2010. Percebe-se ainda variação dos preços traduzida pelos maiores retornos observados em anos como o de 2009 (crise).

Figura 2. Séries temporais, original e de retorno, dos preços do milho.

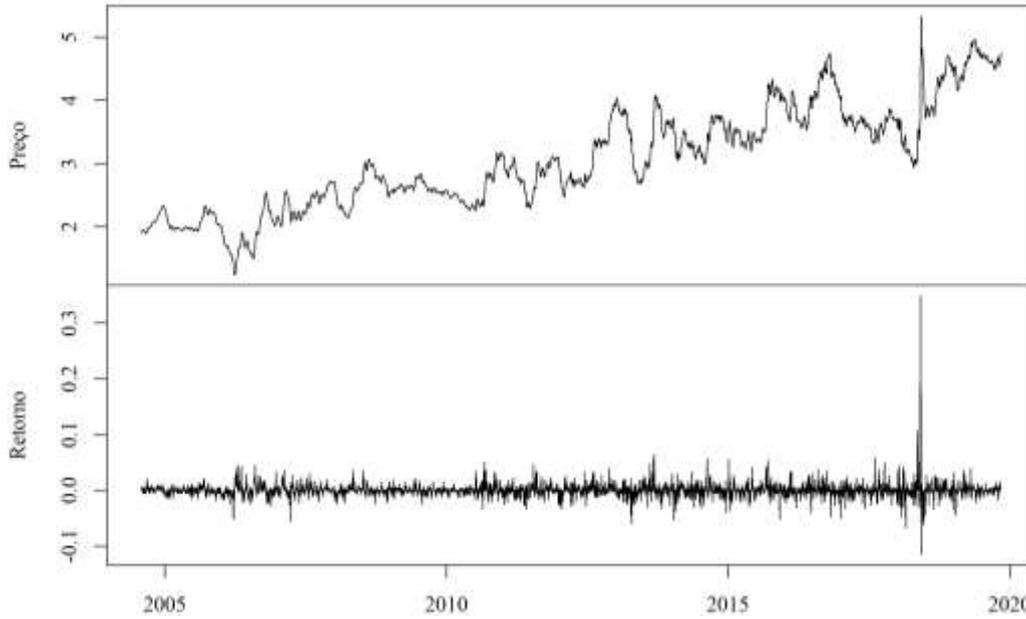


Fonte: Autores, a partir dos dados do CEPEA.

A Figura 3 apresenta o comportamento das séries temporais, original e de retorno, dos preços diários da carne de frango para o período analisado. Percebe-se que o preço dessa *commodity* apresenta queda até março de 2006, subindo

posteriormente de forma oscilatória. Durante o período da crise financeira, entretanto, o preço volta a cair de forma mais constante e, após a crise, tende a subir novamente. Esse período coincide com o período de aumento do preço da soja, sugerindo uma correlação entre os preços dessas *commodities*. É possível observar, ainda, que os maiores retornos se encontram em períodos de diminuição dos preços.

Figura 3. Séries temporais, original e de retorno, dos preços da carne de frango.



Fonte: Autores, a partir dos dados do CEPEA.

2.2 Detrended Fluctuation Analysis (DFA)

A análise de flutuação sem tendência (*Detrended fluctuation analysis* - DFA) foi introduzida por (Peng *et al.*, 1994) como análise da raiz quadrada média modificada de passeio aleatório e serve para detectar correlações de longo alcance em séries temporais que não apresentem estacionariedade (Kantelhardt *et al.*, 2001). Esse método foi aplicado em Fisiologia (Goldberger *et al.*, 2002), Geofísica (Zheng *et al.*, 2012), Ecologia (Stosic *et al.*, 2016), Climatologia (Jiang, Zhao, & Wang, 2016) e Finanças (Yamasaki *et al.*, 2005).

A implementação do algoritmo DFA é descrita da seguinte forma:

Primeiro, a série temporal original $x(i)$, $i = 1, \dots, N$, é integrada para produzir:

$$X(k) = \sum_{i=1}^k [x(i) - \langle x \rangle], \quad k = 1, \dots, N, \quad (1)$$

em que $\langle x \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i)$ é a média aritmética dos dados da série.

Em seguida, a série integrada $X(k)$ é dividida em $N_n = \text{int}(N/n)$ segmentos de comprimento n não sobrepostos e, para cada segmento $s = 1, \dots, N_n$, a tendência local $X_{n,s}(k)$ é estimada como um polinômio linear ou de ordem superior, com ajuste quadrado mínimo e subtraído de $X(k)$. A variância sem tendência é então calculada por

$$F_{DFA}^2(n) = \frac{1}{nN_n} \sum_{s=1}^{N_n} \sum_{k=(s-1)n+1}^{sn} [X(k) - X_{n,s}(k)]^2. \quad (2)$$

Repetir esse cálculo para diferentes tamanhos de janela fornece a relação entre a função de flutuação $F(n)$ e o tamanho da janela n . Se houver correlações de longo prazo na série original, $F(n)$ aumenta com n de acordo com uma lei de potência $F(n) \sim n^\alpha$.

O expoente escalar α é obtido pela inclinação da regressão linear de $\log F(n)$ versus $\log n$. Para $0 < \alpha < 1$, o expoente DFA é igual ao expoente de Hurst H e descreve autocorrelações nas séries originais: o valor $\alpha = 0,5$ indica a ausência de correlações (ruído branco); $\alpha > 0,5$ indica correlações persistentes a longo prazo, o que significa que valores grandes (pequenos) têm maior probabilidade de serem seguidos por grandes valores (pequenos); $\alpha < 0,5$ indica correlações antipersistentes a longo prazo, o que significa que valores grandes têm maior probabilidade de serem seguidos por valores pequenos e vice-versa. O valor $1 < \alpha < 2$ indica movimento browniano fracionário com incrementos descritos pelo expoente de Hurst $H = \alpha - 1$. Os valores $\alpha = 1$ e $\alpha = 1,5$ correspondem ao ruído $1/f$ e ao ruído browniano (integração do ruído branco), respectivamente (Løvsletten, 2017).

2.3 Detrended Cross-Correlation Analysis (DCCA)

O método *Detrended Cross-Correlation Analysis* (DCCA) foi introduzido por Podobnik e Stanley (Podobnik & Stanley, 2008) como uma generalização do método *Detrended Fluctuation Analysis* (DFA) (Peng *et al.*, 1994), e é útil para mensurar correlações entre duas séries temporais simultâneas. Assim como no método DFA, essa técnica é aplicada para detectar e mensurar correlações existentes entre duas séries não estacionárias e já foi largamente utilizada em áreas diversas como Fisiologia (Jun & Da-Qing, 2012), Engenharia (Xu, Shang, & Kamae, 2010), Climatologia (Dos Anjos *et al.* 2015), Hidrologia (Dey & Mujumdar, 2018) e Finanças (Podobnik *et al.*, 2009). A implementação do algoritmo DCCA é descrita da seguinte forma (Podobnik & Stanley, 2008):

Inicialmente as duas séries temporais simultâneas $x(i)$ e $y(i)$, com $i = 1, \dots, N$, são integradas para produzir

$$X(k) = \sum_{i=1}^k [x(i) - \langle x \rangle] \quad \text{e} \quad Y(k) = \sum_{i=1}^k [y(i) - \langle y \rangle], \quad k = 1, \dots, N, \quad (3)$$

em que $\langle x \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(i)$ e $\langle y \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y(i)$ representam as médias aritméticas das séries $x(i)$ e $y(i)$, respectivamente.

Na sequência, as séries integradas $X(k)$ e $Y(k)$ são divididas em N_n intervalos (segmentos) não sobrepostos de tamanho n e, para cada segmento $s = 1, \dots, N_n$, as tendências locais $X_{n,s}(k)$ e $Y_{n,s}(k)$ (feitas com ajuste linear ou polinomial) são estimadas e subtraídas das séries $X(k)$ e $Y(k)$, respectivamente. Calcula-se, então, a covariância sem tendências:

$$F_{DCCA}^2(n) = \frac{1}{nN_n} \sum_{s=0}^{N_n-1} \sum_{k=ns+1}^{n(s+1)} [X(k) - X_{n,s+1}(k)][Y(k) - Y_{n,s+1}(k)]. \quad (4)$$

Esse cálculo se repete para diferentes tamanhos dos segmentos, dando a relação entre a função de flutuação $F_{DCCA}(n)$ e o tamanho do segmento n . Se entre as duas séries originais $x(i)$ e $y(i)$ existirem correlações de longo alcance, $F_{DCCA}(n)$ segue uma lei de potência $F_{DCCA}(n) \sim n^\lambda$. O expoente de escala λ pode ser obtido como o coeficiente angular da reta entre $\log F_{DCCA}(n)$ e $\log n$. A interpretação de λ se faz similar à do expoente α do método DFA. A presença de correlações cruzadas de longo prazo entre duas séries simultâneas implica que cada série tem uma longa memória dos seus valores

anteriores, bem como uma longa memória de valores anteriores da outra série (Podobnik e Stanley, 2008). No caso de apenas uma série ser analisada, os métodos DCCA e DFA são equivalentes.

2.4 Detrended Cross Correlation Coefficient

Zebende (2011) introduziu o coeficiente de correlação cruzada DCCA

$$\rho_{DCCA}(n) = \frac{F_{DCCA}^2(n)}{F_{DFA_1}(n)F_{DFA_2}(n)}, \quad (5)$$

em que $F_{DCCA}^2(n)$ é a covariância sem tendência obtida pela DCCA e $F_{DFA_1}(n)$ e $F_{DFA_2}(n)$ representam as funções de flutuação obtidas pelo método DFA. O coeficiente de correlação cruzada ρ_{DCCA} já foi utilizado em análise de processos fisiológicos (Chen *et al.*, 2018), séries climáticas (Vassoler & Zebende, 2012) e dados financeiros (Ferreira *et al.*, 2019). Ele pode ser visto como análogo ao coeficiente de Pearson, tendo valor mínimo -1 para correlação cruzada negativa perfeita e valor máximo 1 para correlação cruzada positiva perfeita.

Se as duas séries não apresentarem correlação cruzada, $\rho_{DCCA}(n)$ oscila em torno de zero, enquanto para séries anticorrelacionadas, $\rho_{DCCA}(n)$ é estritamente negativo e, para séries correlacionadas positivamente, $\rho_{DCCA}(n)$ é positivo. Nos casos em que há correlações de longo alcance entre as séries analisadas, o coeficiente segue uma lei de potência tal que $\rho_{DCCA}(n) \sim n^\omega$, em que $\omega = 2\lambda - \alpha_1 - \alpha_2$ (Zebende *et al.*, 2013).

3. Resultados e Discussão

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos a partir das análises das séries temporais originais e de retorno de preços das *commodities* agrícolas brasileiras soja, milho e carne de frango.

A Tabela 1 traz a estatística descritiva de retorno dos preços da carne de frango, soja e milho para as séries históricas, antes (02/08/2004 - 15/09/2008) e depois (01/07/2009 - 16/06/2017) da crise de 2008. A análise descritiva das séries temporais apresenta médias baixas para os retornos de preços das três *commodities* e uma assimetria positiva, exceto para os de preços da soja, que possui valor negativo. Para os retornos de preços da carne de frango, a assimetria foi positiva para todo o período após a crise; mas antes da crise, a assimetria foi negativa e com valor próximo a zero. Além disso, os valores de Curtose são altos, denotando retornos com comportamentos mais agudos que a distribuição normal.

Tabela 1. Medidas descritivas de retornos dos preços das *commodities* frango, soja e milho, para as séries temporais no ciclo completo e nos ciclos anterior e posterior à crise de 2008.

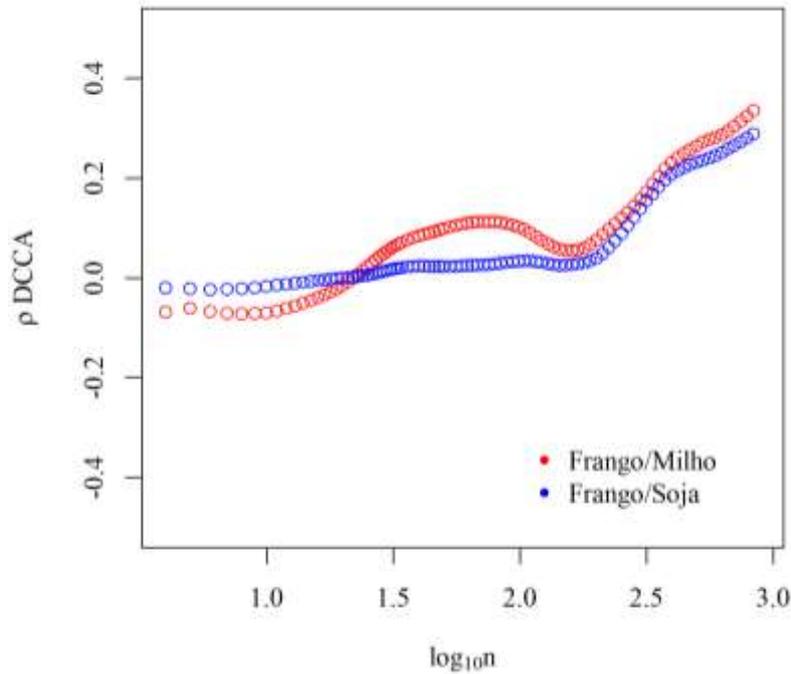
Medida \ Ciclo	Completo	Antes	Depois
Frango			
Média	0,0002	0,0007	0,0002
Máximo	0,3489	0,0556	0,3489
Mínimo	-0,1152	-0,0637	-0,1152
Desvio Padrão	0,0119	0,0130	0,0133
Assimetria	6,3376	-0,1129	7,0082
Curtose	190,76	1,6419	189,188
N (Obs.)	3953	1183	2574
Soja			
Média	0,0001	-0,00002	0,0002
Maximo	0,0499	0,0499	0,0394
Mínimo	-0,0633	-0,0633	-0,0453
Desvio Padrão	0,0100	0,0124	0,0087
Assimetria	-0,2914	-0,4318	-0,0993
Curtose	2,8015	2,6303	1,4554
N (Obs.)	3953	1183	2574
Milho			
Média	0,0002	0,0700	0,0002
Máximo	0,0751	0,0627	0,0751
Mínimo	-0,0536	-0,0536	-0,0487
Desvio Padrão	0,0096	0,0094	0,0097
Assimetria	0,5467	0,4584	0,4704
Curtose	4,7244	4,5768	4,0494
N (Obs.)	3953	1183	2574

Fonte: Autores, a partir dos dados do CEPEA.

Na Figura 4 são apresentados os coeficientes de correlação DCCA (usando o polinômio de ordem $m = 2$ para retirar tendência local) entre as séries dos preços de frango e milho, e de frango e soja. Observa-se que, para escalas menores, as correlações entre frango e milho são fracas e negativas ($\rho_{DCCA} < 0$), mas crescem a partir do aumento da escala temporal. Esse crescimento fez com que, para escalas a partir de 30 dias ($\log n \sim 1,5$), as correlações fossem positivas. No caso de frango e soja pode-se observar que, até a escala temporal de 30 dias ($\log n \sim 1,5$), os retornos não foram correlacionados ($\rho_{DCCA} \sim 0$). Para as escalas maiores, as correlações aumentaram e foram positivas.

O comportamento das correlações entre os preços de frango e soja foi similar ao comportamento das correlações entre os de frango e milho, traduzindo a interação entre as *commodities* agrícolas. Contudo, a correlação entre os preços de frango e milho foi mais forte do que entre frango e soja, indicando que as variações nos custos da carne de frango afetam mais os preços do milho que os preços da soja, principalmente para escalas superiores a 30 dias.

Figura 4. Coeficiente DCCA entre as séries de preços do frango e milho e do frango e soja no período de agosto de 2004 a junho de 2017.

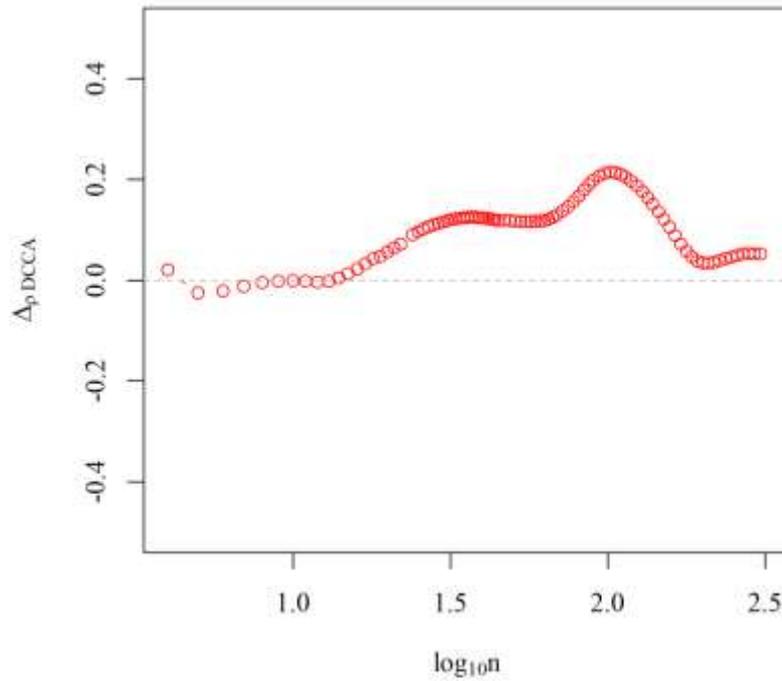


Fonte: Autores, a partir dos dados do CEPEA.

As Figuras 5 e 6 apresentam a diferença entre os coeficientes DCCA para períodos anterior (02/08/2004 - 15/09/2008) e posterior (01/07/2009 - 16/06/2017) à crise alimentar de 2008: $\Delta\rho_{DCCA} = \rho_{DCCA}(\text{antes}) - \rho_{DCCA}(\text{depois})$, entre as séries de retorno dos preços de frango e de milho (Figura 5), e frango e soja (Figura 6). Na Figura 5 observa-se que a partir da escala de 30 dias ($\log n \sim 1,5$), $\Delta\rho_{DCCA}$ tornou-se positiva, significando que as correlações diminuíram depois da crise de 2008. Isto é, $\Delta\rho_{DCCA}$ aumentou até a escala de 100 dias ($\log n \sim 2$) e depois diminuiu. A partir da escala de 200 dias ($\log n \sim 2,3$), não houve diferença entre as correlações dos dois períodos ($\Delta\rho_{DCCA} \sim 0$).

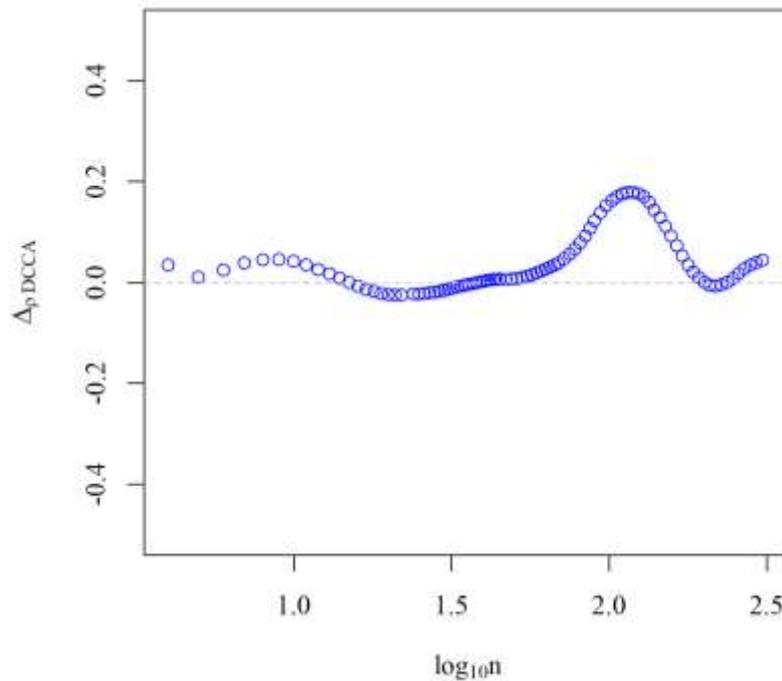
Na Figura 6 observa-se que $\Delta\rho_{DCCA}$ oscilou em torno de zero até a escala de 15 dias ($\log n \sim 1,2$) e tornou-se negativa até a escala de 60 dias ($\log n \sim 1,8$), significando que neste intervalo da escala as correlações foram mais forte depois da crise de 2008. A partir dessa escala até a escala de 200 dias ($\log n \sim 2,3$), $\Delta\rho_{DCCA}$ tornou-se positiva, significando que as correlacoes diminuíram depois da crise.

Figura 5. Diferença entre os coeficientes de correlação dos períodos anterior e posterior à crise de 2008, para as séries de retorno dos preços de frango e de milho.



Fonte: Autores, a partir dos dados do CEPEA.

Figura 6. Diferença entre os coeficientes de correlação dos períodos anterior e posterior à crise de 2008, para as séries de retorno dos preço de frango e de soja.



Fonte: Autores, a partir dos dados do CEPEA.

Os resultados aqui obtidos para o comportamento das correlações entre as séries temporais dos preços de frango, soja e milho, por análise do coeficiente DCCA, estão qualitativamente de acordo com os estudos realizados entre os anos de 2014 e 2021, conforme descrito a seguir.

Oliveira Junior *et al.* (2014) estudaram relações lineares entre os preços de milho, soja e frango *in natura* utilizando as técnicas de análises estatísticas e observaram a existência de forte correlação entre os preços de carne de frango com os preços de milho e de soja. Pereira *et al.* (2016) investigaram a relação entre os preços dos insumos produtivos milho e soja, e o preço da carne de frango no estado de Pernambuco. Eles verificaram que os choques exógenos no preço do milho e da soja influenciam positivamente o preço do frango por um curto período após o choque inicial. Bini *et al.* (2016) também investigaram a relação entre os preços dessas *commodities* utilizando Análise de Autorregressão Vetorial (VAR), e observaram que os preços de milho e do frango apresentam dependência mútua entre si e os preços de soja não sofrem influência dos demais produtos.

Recentemente os preços dessas *commodities* foram analisadas utilizando métodos da teoria das redes complexas. Nunes *et al.* (2021) aplicaram o método Grafo de Visibilidade Horizontal nas séries originais, de retorno e de volatilidade dos preços de milho, soja e carne de frango, durante o período entre 2011 e 2019, e mostraram que as séries originais dos preços da soja e do milho, a série de retorno dos preços do frango e a série de volatilidade dos preços de milho são geradas por processos estocásticos correlacionados, a série de retorno dos preços de soja apresenta comportamento de processo não correlacionado e as demais séries são governadas por processos caóticos. O estudo indicou, ainda, que, entre as três *commodities* analisadas, o mercado de soja foi o que se mostrou mais eficiente (retornos não são correlacionados), o que está qualitativamente de acordo com os resultados obtidos neste trabalho, em que os preços da carne de frango se apresentaram menos correlacionados com os preços da soja do que com os preços do milho.

4. Considerações Finais

Neste trabalho foram analisadas as correlações entre as séries temporais de preços originais e de retorno de preços das *commodities* agrícolas soja, milho e carne de frango. As correlações foram analisadas fazendo uso dos métodos DFA e DCCA, com que se calculou o coeficiente de correlação, que se mostrou eficiente para medir os níveis de correlação entre os preços das *commodities*.

Os resultados das análises mostraram que as correlações entre as séries de preços frango-milho são mais fortes do que entre as de preços frango-soja. Os valores do coeficiente de correlação ρ_{DCCA} indicaram que as correlações entre as séries temporais dos preços das *commodities* variam conforme exista uma variação no intervalo da escala temporal. Além disso, observou-se que os efeitos da crise foram mais fortes na relação entre os preços de frango e soja do que na relação entre os preços de frango e milho.

Em trabalhos futuros, pode-se investigar de forma mais profunda as correlações entre essas e outras *commodities*, fazendo uso de outras técnicas como *Multifractal Detrended Cross-Correlation Analysis* (MF-DCCA).

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio e incentivo oferecidos pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pelo Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada (PPGBEA), pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e pela Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE). Ainda, agradecem ao Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) pela disponibilização dos dados.

Referências

- Araújo, C. C. (2019). Utilização do arroz, quirera e farelo de arroz integral na alimentação de frangos de crescimento lento. *Dissertação de Mestrado em Ciência Animal Tropical*, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal Tropical, Universidade Federal do Tocantins. Araguaína. Obtido em: <http://hdl.handle.net/11612/1485>.
- Beckmann, J., & Czudaj, R. (2014). Volatility transmission in agricultural futures markets. *Economic Modelling*, 36, 541-546.
- Bini, D. A., Canever, M. D., de Souza, M. O., & Ely, R. A. (2016). Transmissão de preços ao longo das cadeias produtivas do Brasil. *Revista de Economia*, 42(1).
- CEPEA/ESALQ/USP. (2020). *Consultas ao Banco de Dados do Site - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - CEPEA-Esalq/USP*. Recuperado de <https://www.cepea.esalq.usp.br/consultas-ao-banco-de-dados-do-site.aspx>
- Chen, Y., Cai, L., Wang, R., Song, Z., Deng, B., Wang, J., & Yu, H. (2018). DCCA cross-correlation coefficients reveals the change of both synchronization and oscillation in EEG of Alzheimer disease patients. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 490, 171-184.
- da Silva, M. F., Pereira, É. J. D. A. L., da Silva Filho, A. M., de Castro, A. P. N., Miranda, J. G. V., & Zebende, G. F. (2016). Quantifying the contagion effect of the 2008 financial crisis between the G7 countries (by GDP nominal). *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 453, 1-8.
- de Nicola, F., De Pace, P., & Hernandez, M. A. (2016). Co-movement of major energy, agricultural, and food commodity price returns: A time-series assessment. *Energy Economics*, 57, 28-41.
- Nunes, J. E. O., da Silva, J. M., Araújo, L. S., Moreira, G. R., Stosic, T., & Stosic, B. (2021). Análise de grafos de visibilidade do mercado brasileiro de soja, milho e carne de frango. *Research, Society and Development*, 10(1), e39210111478-e39210111478.
- de Santana, L. I. T., da Silva, J. M., Araújo, L. S., Moreira, G. R., & Stosic, T. (2020). Análise de quantificação de recorrência de preços brasileiros do milho, da soja e da carne de frango. *Research, Society and Development*, 9(10), e9979109461-e9979109461.
- Dey, P., & Mujumdar, P. P. (2018). Multiscale evolution of persistence of rainfall and streamflow. *Advances in water resources*, 121, 285-303.
- dos Anjos, P. S., da Silva, A. S. A., Stošić, B., & Stošić, T. (2015). Long-term correlations and cross-correlations in wind speed and solar radiation temporal series from Fernando de Noronha Island, Brazil. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 424, 90-96.
- EMBRAPA (2020). *Maiores produtores mundiais de carne de frango*. Obtido em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/frangos/mundo>.
- Ferreira, P., Pereira, É. J. D. A. L., da Silva, M. F., & Pereira, H. B. (2019). Detrended correlation coefficients between oil and stock markets: The effect of the 2008 crisis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 517, 86-96.
- Goldberger, A. L., Amaral, L. A., Hausdorff, J. M., Ivanov, P. C., Peng, C. K., & Stanley, H. E. (2002). Fractal dynamics in physiology: alterations with disease and aging. *Proceedings of the national academy of sciences*, 99(suppl 1), 2466-2472.
- Jiang, L., Zhao, X., & Wang, L. (2016). Long-range correlations of global sea surface temperature. *PLoS one*, 11(4), e0153774.
- Jun, W., & Da-Qing, Z. (2012). Detrended cross-correlation analysis of electroencephalogram. *Chinese Physics B*, 21(2), 028703.
- Kantelhardt, J. W., Koscielny-Bunde, E., Rego, H. H., Havlin, S., & Bunde, A. (2001). Detecting long-range correlations with detrended fluctuation analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 295(3-4), 441-454.
- Lima, C. R. A., de Melo, G. R., Stosic, B., & Stosic, T. (2019). Cross-correlations between Brazilian biofuel and food market: Ethanol versus sugar. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 513, 687-693.
- Liu, L. (2014). Cross-correlations between crude oil and agricultural commodity markets. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 395, 293-302.
- Løvstetten, O. (2017). Consistency of detrended fluctuation analysis. *Physical Review E*, 96(1), 012141.
- Oliveira Junior, O. D. P., Wander, A. E., & Figueiredo, R. S. (2014). Relação entre os preços do milho, da soja e da carne de frango no período de 2004 a 2013. In *Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em anais de congresso (ALICE)*. In: Congresso Da Sociedade Brasileira De Economia, Administração E Sociologia Rural, 52., 2014, Goiânia. Heterogeneidade e suas implicações no rural brasileiro: anais. Goiânia: Sober.
- Pal, D., & Mitra, S. K. (2018). Interdependence between crude oil and world food prices: A detrended cross correlation analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 492, 1032-1044.
- Peng, C. K., Buldyrev, S. V., Havlin, S., Simons, M., Stanley, H. E., & Goldberger, A. L. (1994). Mosaic organization of DNA nucleotides. *Physical review e*, 49(2), 1685.
- Pereira, A. F. C., de Melo, A. F., Justo, W. R., & da Silva Melo, S. R. (2016). Cointegration and price transmission in poultry in Pernambuco. *Informe GEPEC*, 20(1), 129.
- Piao, L., Fu, Z., & Yuan, N. (2016). "Intrinsic" correlations and their temporal evolutions between winter-time PNA/EPW and winter drought in the west United States. *Scientific reports*, 6(1), 1-10.
- Podobnik, B., Horvatic, D., Petersen, A. M., & Stanley, H. E. (2009). Cross-correlations between volume change and price change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(52), 22079-22084.

- Podobnik, B., & Stanley, H. E. (2008). Detrended cross-correlation analysis: a new method for analyzing two nonstationary time series. *Physical review letters*, 100(8), 084102.
- Qian, X. Y., Liu, Y. M., Jiang, Z. Q., Podobnik, B., Zhou, W. X., & Stanley, H. E. (2015). Detrended partial cross-correlation analysis of two nonstationary time series influenced by common external forces. *Physical Review E*, 91(6), 062816.
- Shen, C. H., & Li, C. L. (2016). An analysis of the intrinsic cross-correlations between API and meteorological elements using DPCCA. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 446, 100-109.
- Stosic, T., Telesca, L., da Costa, S. L. L., & Stosic, B. (2016). Identifying drought-induced correlations in the satellite time series of hot pixels recorded in the Brazilian Amazon by means of the detrended fluctuation analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 444, 660-666.
- FAS/USDA (2021). Foreign Agricultural Service, *United States Department of Agriculture*. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>.
- Vassoler, R. T., & Zebende, G. F. (2012). DCCA cross-correlation coefficient apply in time series of air temperature and air relative humidity. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391(7), 2438-2443.
- Xu, N., Shang, P., & Kamae, S. (2010). Modeling traffic flow correlation using DFA and DCCA. *Nonlinear Dynamics*, 61(1), 207-216.
- Yamasaki, K., Muchnik, L., Havlin, S., Bunde, A., & Stanley, H. E. (2005). Scaling and memory in volatility return intervals in financial markets. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(26), 9424-9428.
- Yuan, N., Fu, Z., Zhang, H., Piao, L., Xoplaki, E., & Luterbacher, J. (2015). Detrended partial-cross-correlation analysis: a new method for analyzing correlations in complex system. *Scientific reports*, 5(1), 1-7.
- Zebende, G. F. (2011). DCCA cross-correlation coefficient: Quantifying level of cross-correlation. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 390(4), 614-618.
- Zebende, G. F., Da Silva, M. F., & Machado Filho, A. (2013). DCCA cross-correlation coefficient differentiation: Theoretical and practical approaches. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 392(8), 1756-1761.
- Zheng, Z., Yamasaki, K., Tenenbaum, J., Podobnik, B., Tamura, Y., & Stanley, H. E. (2012). Scaling of seismic memory with earthquake size. *Physical Review E*, 86(1), 011107.