

Análise de Quantificação de Recorrência do preço do açúcar brasileiro

Leika I. T. Santana^{1†}, Ikaro Daniel C. Barreto², Tatijana Stosic³

¹UFRPE.

²UFRPE. email: daniel.carvalho.ib@gmail.com.

³UFRPE. email: tastosic@gmail.com.

Resumo: Os preços de commodities (matérias-primas) agrícolas nas últimas décadas subiram exponencialmente, por vários motivos, por exemplo, a desvalorização do dólar, ou o desvio de commodities alimentares para a produção de biocombustível, atingido inúmeros países, principalmente os países em desenvolvimento, podendo acarretar na insegurança alimentar, aumentando a fome e a pobreza. Com a crise alimentar nos últimos anos, surgiu mais interesse em investigar a influência dos fatores internos e externos do mercado na variação dos preços de commodities. Neste trabalho, investiga-se a influência de câmbio no preço do açúcar brasileiro utilizando os métodos de gráfico de recorrência cruzado (CRP) e análise de quantificação de recorrência cruzada (CRQA) que servem para visualizar e quantificar as trajetórias dos sistemas dinâmicos no mesmo espaço de fase. Os resultados mostram que a dinâmica de correlação entre as séries do preço de açúcar em real e dólar tem um comportamento estocástico, com uma baixa sincronização e baixo tempo de permanência em estados similares no espaço de fase.

Palavras-chave: Recorrência Cruzada; Commodities agrícolas; Câmbio.

Abstract: During the last decades agricultural commodities prices have risen exponentially for a number of reasons, such as the devaluation of US dollar, or the diversion of food commodities to biofuel production, affecting many countries, especially the developing countries, leading to food insecurity, and increasing hunger and poverty. Following the food crisis in recent years, more interest has emerged to investigate the influence of internal and external market factors on the variation of commodity prices. In this work, we analyze the influence of exchange rate on the Brazilian sugar price using cross-recurrence plot (CRP) and cross-recurrence quantification analysis (CRQA) methods that serve to visualize and quantify the trajectories of dynamical systems in the same phase space. The results show that the dynamics of correlation between sugar price series recorded in real and dollar has a stochastic behavior, with a low synchronization and low trapping time in similar states in phase space.

Keywords: Cross-Recurrence; Agricultural commodities; Exchange Rate.

Introdução

Os preços de commodities (matérias-primas) agrícola são afetados pelas condições climáticas, pelo bicomcombustível e pelo alto consumo de energia (BAFFES, 2013), através de fertilizantes, processamento de alimentos, entre outros (LIMA et al., 2019). Em meados de 2000, houve um aumento nos preços de commodities alimentares, seguido em 2007/2008 e posteriormente em 2010/2011 por causa da grande demanda por alimentos e rações para animais, que superou a oferta. Este fato se deu principalmente pelo crescimento econômico, o acréscimo nos biocombustíveis (HOCHMAN et al., 2014), a desvalorização do dólar dos Estados Unidos (ABBOTT; HURT; TYNER, 2008) e o aumento nos preços de energia (HOCHMAN; RAJAGOPAL; ZILBERMAN, 2010). O crescimento da demanda mundial, juntos com a desaceleração do crescimento da produção agrícola resultou em diminuição nos estoques globais de commodities, como soja, milho e trigo. Por consequência de baixos estoques, por sua vez, aumentará a probabilidade de que novas fontes de demanda, ou fins na oferta, antecipassem mudanças extremas nos preços dos alimentos (TROSTLE, 2008).

† Autora correspondente: leikatenorio10@gmail.com.

Com o aumento do preço de commodities, aumenta a insegurança alimentar tanto nos países desenvolvidos, quando nos países em desenvolvimento, onde as famílias de baixa renda são mais vulneráveis ao impacto dos preços alimentares, pois não tem condições financeiras de adquirirem alimentação suficiente para sobrevivência (GREGORY; COLEMAN-JENSEN, 2013; LAMPIETTI et al., 2011), deixando os órgãos públicos mais preocupados. Estes picos nos preços de commodities nos últimos anos podem acarretar em alterações nas condições macroeconômicas, principalmente nos países em desenvolvimento, tendo por consequência o aumento da inflação, extensão da fome e da pobreza, entre outros (ABBOTT; BOROT DE BATTISTI, 2011).

A relação entre preços de commodities agrícola e os preços de biocombustíveis vem atraindo mais atenção nos últimos anos, tanto na literatura da economia agrícola, quando em suas áreas relacionadas, como a econofísica (CHIU et al., 2016; LIMA et al., 2019). Neste trabalho, utilizaremos método Gráfico de Recorrência e Análise de Quantificação de Recorrência para investigar a influência de câmbio no preço do açúcar.

Metodologia

Gráfico de recorrência

Eckmann, Kamphorst e Ruelle (1987) introduziram a ferramenta Gráfico de Recorrência (*Recurrence Plot*- RP) para visualizar a trajetória de um sistema dinâmico. O RP é representado por uma matriz $N \times N$

$$R_{ij} = \Theta(\varepsilon - \|\vec{x}_i - \vec{x}_j\|) \quad i, j = 1, \dots, N \quad (1)$$

onde N é o número de pontos medidos \vec{x}_i , ε é o raio da vizinhança (*threshold*); $\Theta(\cdot)$ é a função Heaviside e $\|\cdot\|$ é uma norma, que normalmente é usada a norma-euclidiana. Os vetores de espaço de fase \vec{x}_i e \vec{x}_j para a série temporal u_i podem ser construídos conforme o teorema de Taken (TAKENS, 1981) utilizando uma dimensão de imersão m e um de atraso de tempo τ : $\vec{x}_i = (u_i, u_{i+\tau}, \dots, u_{i+(m-1)\tau})$, onde os valores dos parâmetros m e τ podem ser obtidos utilizando o método de vizinhos falsos mais próximos e informação mútua, respectivamente (KANTZ; SCHREIBER, 2004). Se ocorre $\vec{x}_i \approx \vec{x}_j \leftrightarrow R_{ij} = 1$ teremos em RP pontos de recorrência pretos, caso contrário, $\vec{x}_i \not\approx \vec{x}_j \leftrightarrow R_{ij} = 0$ teremos pontos brancos.

Os RPs fornecem várias informações sobre o sistema dinâmico. Sistemas periódicos apresentam diagonais completamente preenchidas e paralelas a diagonal principal, sistemas estacionários apresentam gráficos homogêneos com pontos pequenos, sistemas intermitentes apresentam linhas verticais e horizontais. Quando o sistema possui uma variação, o gráfico apresenta uma ausência de pontos recorrentes, tanto no canto superior esquerdo quanto no inferior direito. Quando existe a descontinuidade causada por mudanças abruptas na dinâmica, bem como a ocorrência de eventos raros, aparecem bandas brancas (MARWAN et al., 2007).

Análise de quantificação de recorrência

A análise de quantificação de recorrência (*Recurrence quantification analysis* – RQA) foi desenvolvida por (ZBILUT; WEBBER JR, 1992) e ampliado por (MARWAN et al., 2002). As medidas de quantificação são: Taxa de Recorrência (RR) - mede a densidade dos pontos de recorrência; Determinismo (DET) - razão entre o número de pontos de recorrência que formam as estruturas diagonais e todos os pontos de recorrência, relacionado com a previsibilidade do sistema; Comprimento Médio das Linha Diagonais (L) – pode ser interpretado como o tempo médio de previsão; Comprimento Máximo das Linhas Diagonais (L_{max}), ou seu inverso, a Divergência (DIV); Entropia de Shannon (ENTR) - serve como medida de complexidade de RP em relação as linhas

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p. 49-54, 2019.

64ª Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).
18º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO).

diagonais; Laminaridade (LAM) - razão entre os pontos de recorrência que formam as estruturas verticais e todos os pontos de recorrência; Tempo de Permanência (*Trapping time* - TT) - o comprimento médio das estruturas verticais, mede o tempo médio que o sistema permanece em um estado específico.

Gráfico de recorrência cruzado

Gráfico de Recorrência Cruzado (*Cross-Recurrence plot* - CRP) é uma extensão bivariada do RP, que compara a dinâmica de duas séries temporais no mesmo espaço de fase (MARWAN; KURTHS, 2002) (ZBILUT; GIULIANI; WEBBER JR, 1998), assim seja, \vec{x}_i ($i = 1, \dots, N$) e \vec{y}_j ($j = 1, \dots, M$) duas trajetórias, a matriz de recorrência cruzada $N \times M$ é

$$CR_{i,j} = \Theta(\varepsilon - \|\vec{x}_i - \vec{y}_j\|) \quad i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, M \quad (2)$$

A investigação visual do CRP providencia informações sobre relação entre as duas séries, como comparar a sua similaridade, por exemplo. Baseado no CRP podem ser encontradas também medidas de quantificação (CRQA), de modo análogo ao RQA, assim quantificando a similaridade entre as trajetórias no espaço de fase (MARWAN; KURTHS, 2002).

Dados e análise

Os dados utilizados são séries diárias de preços de açúcar em real e dólar no período de 20/03/2003 à 31/12/2018, retirado no CEPEA/ESALQ/USP – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo, disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br>. Cada série original de preços de açúcar em real e dólar foram normalizadas entre 0 e 1, conforme a equação

$$P^* = \frac{P - \min(P)}{\max(P) - \min(P)} \quad (3)$$

onde P representa a série original, $\min(P)$ e $\max(P)$ são os valores mínimo e máximo de P (BASTOS; CAIADO, 2011). Para as análises de CRP e CRQA (análise de quantificação de recorrência cruzada) foi utilizado o software R (2019). As séries originais e normalizadas são apresentadas na Figura 1.

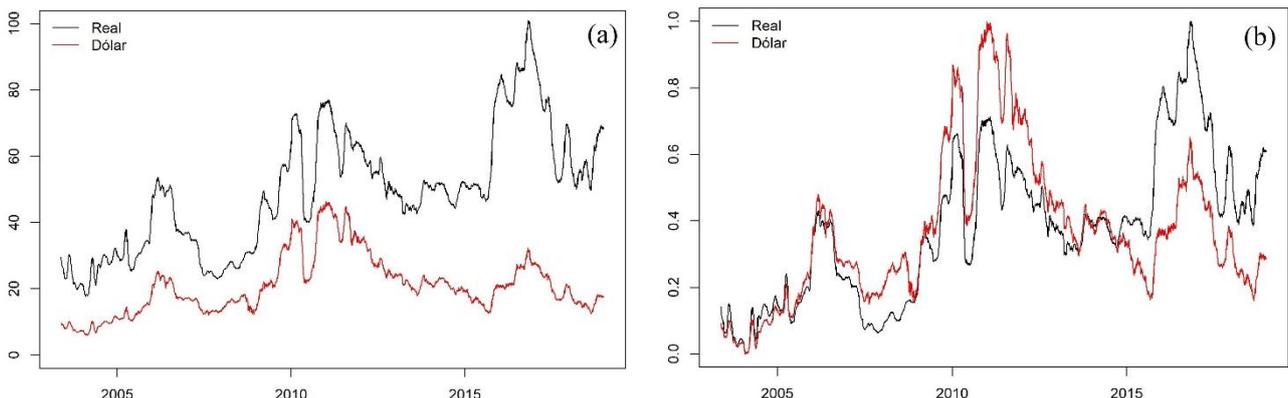


Figura 1: Série original (a) e normalizada (b) do preço do açúcar em real e dólar. Fonte: CEPEA/ESALQ/USP.

Os valores obtidos dos parâmetros são $m = 4$, $\tau = 1$ e para a obtenção do parâmetro ε , CRP foi explorado repetidas vezes até o valor de RR entre 2-5% (COCO; DALE, 2014), sendo $\varepsilon = 4,783967$. O CRP do preço do açúcar em real e dólar será apresentado na Figura 2.

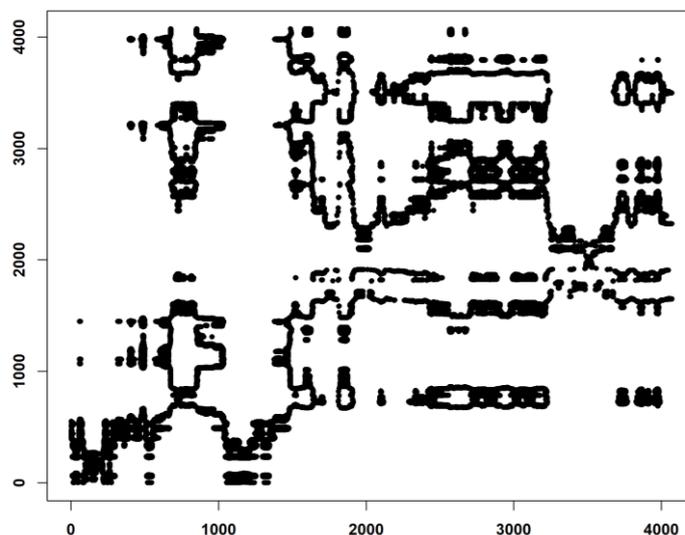


Figura 2: Gráfico de recorrência cruzado do preço de açúcar em real e dólar. Fonte: Elaborado pelo autor.

Note que, o CRP não apresenta linhas diagonais longas indicando uma baixa sincronização entre as séries analisadas. A aparência das linhas verticais e horizontais indica laminaridade (intermitência simultânea) das séries, confirmando o padrão visto na Figura 1(b) (períodos simultâneos de aumento/diminuição dos preços).

Quanto a Análise de Quantificação de Recorrência pode-se observar que i) houve uma densidade baixa nos pontos de recorrência na diagonal, pois resultou em um baixo valor de $RR = 2,505491$; ii) tem uma baixa coincidência de ambos os sistemas, indicada pelo valor baixo do $L = 7,511521$, com comprimento segmento de linha diagonal mais longa igual à 17 e o número total de linhas no CRP de 54033; iii) o determinismo e o estado de laminaridade foram relativamente altos, $DET = 97,69642$ e $LAM = 98,47174$, a entropia de Shannon e o comprimento médio das estruturas verticais (tempo de permanência) foram baixos, $ENTR = 2,781135$ e $TT = 11,2255$; iv) a dinâmica de correlação entre as séries do preço de açúcar em real e dólar tem um comportamento estocástico, pois CRP possui diagonais muito curtas e com altas flutuações ao longo da série, por possuir lacunas.

Conclusão

Concluiu-se que, a dinâmica de correlação entre as séries do preço de açúcar em real e dólar tem um comportamento estocástico, com uma baixa sincronização e baixo tempo de permanência em estados similares no espaço de fase. Os resultados refletem a influência do câmbio no preço de açúcar, e contribuem ao melhor entendimento de variação de preço desta commodity particularmente em relação a fatores externos do mercado brasileiro.

Agradecimentos

Agradecemos a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e o Conselho

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p. 49-54, 2019.

64^a Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).
18^o Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO).

Nacional de Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia – CNPq pelo apoio financeiro na realização da pesquisa.

Referências bibliográficas

ABBOTT, P.; BOROT DE BATTISTI, A. Recent global food price shocks: Causes, consequences and lessons for African governments and donors. *Journal of African Economies*, v. 20, n. suppl_1, p. i12-i62, 2011.

ABBOTT, P. C.; HURT, C.; TYNER, W. E. *What's driving food prices?*. 2008.

BAFFES, J. A framework for analyzing the interplay among food, fuels, and biofuels. *Global Food Security*, v. 2, n. 2, p. 110-116, 2013.

BASTOS, J. A.; CAIADO, J. Recurrence quantification analysis of global stock markets. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 390, n. 7, p. 1315-1325, 2011.

CHIU, F. P.; HSU, C. S.; HO, A.; CHEN, C. C. Modeling the price relationships between crude oil, energy crops and biofuels. *Energy*, v. 109, p. 845-857, 2016.

COCO, M. I.; DALE, R. Cross-recurrence quantification analysis of categorical and continuous time series: an R package. *Frontiers in psychology*, v. 5, p. 510, 2014.

ECKMANN, J. P.; KAMPHORST, S. O.; RUELLE, D. Recurrence Plots of Dynamical Systems. *E PL (Europhysics Letters)*, v. 4, n. 9, p. 973-977, 1987.

GREGORY, C. A.; COLEMAN-JENSEN, A. Do high food prices increase food insecurity in the United States?. *Applied Economic Perspectives and Policy*, v. 35, n. 4, p. 679-707, 2013.

HOCHMAN, G.; RAJAGOPAL, D.; TIMILSINA, G.; ZILBERMAN, D. Quantifying the causes of the global food commodity price crisis. *Biomass and Bioenergy*, v. 68, p. 106-114, 2014.

HOCHMAN, G.; RAJAGOPAL, D.; ZILBERMAN, D. Are biofuels the culprit? OPEC, food, and fuel. *American Economic Review*, v. 100, n. 2, p. 183-87, 2010.

KANTZ, H.; SCHREIBER, T. *Nonlinear time series analysis*. Cambridge university press, 2004.

LAMPIETTI, J. A.; MICHAELS, S.; MAGNAN, N.; McCALLA, A. F.; SAADE, M.; KHOURI, N. A strategic framework for improving food security in Arab countries. *Food Security*, v. 3, n. 1, p. 7-22, 2011.

LIMA, C. R. A.; MELO, G. R.; STOSIC, B.; STOSIC, T. Cross-correlations between Brazilian biofuel and food market: Ethanol versus sugar. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 513, p. 687-693, 2019.

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p. 49-54, 2019.

64^a Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).

18^o Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO).

MARWAN, N.; WESSEL, N.; MEYERFELDT, U.; SCHIRDEWAN, A.; KURTHS, J. Recurrence-plot-based measures of complexity and their application to heart-rate-variability data. *Physical review E*, v. 66, n. 2, p. 026702, 2002.

MARWAN, N.; ROMANO, M. C.; THIEL, M.; KURTHS, J. Recurrence plots for the analysis of complex systems. *Physics reports*, v. 438, n. 5-6, p. 237-329, 2007.

MARWAN, N.; KURTHS, J. Nonlinear analysis of bivariate data with cross recurrence plots. *Physics Letters A*, v. 302, n. 5-6, p. 299-307, 2002.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. 2019. URL <http://www.R-project.org/>.

TAKENS, F. Detecting strange attractors in turbulence. In: *Dynamical systems and turbulence, Warwick 1980*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1981. p. 366-381.

TROSTLE, R. *Fluctuating food commodity prices: A complex issue with no easy answers*. 2008.

ZBILUT, J. P.; GIULIANI, A.; WEBBER JR, C. L. Detecting deterministic signals in exceptionally noisy environments using cross-recurrence quantification. *Physics Letters A*, v. 246, n. 1-2, p. 122-128, 1998.

ZBILUT, J. P.; WEBBER JR, C. L. Embeddings and delays as derived from quantification of recurrence plots. *Physics letters A*, v. 171, n. 3-4, p. 199-203, 1992.

Sigmae, Alfenas, v.8, n.2, p. 49-54, 2019.

64^a Reunião da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS).
18^o Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agrônômica (SEAGRO).