

## Análise de correlação em séries temporais de preços de frutas produzidas no Vale do São Francisco

Bruno F. Assunção<sup>1†</sup>, José Edvaldo O. Nunes<sup>1</sup>, Ikaro Daniel C. Barreto<sup>2</sup>, Borko Stosic<sup>1</sup>, Tatijana Stosic<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE.

<sup>2</sup>Centro Brasileiro De Pesquisa Em Avaliação E Seleção E De Promoção De Eventos – CEBRASPE.

**Resumo:** O agronegócio é uma relevante atividade econômica no Brasil, representando 26,6% do PIB em 2020. A fruticultura é um setor em destaque, contribuindo para o mercado interno e externo e gerando milhões de empregos diretos. A produção total de frutas in natura em 2020 superou 44 milhões de toneladas, posicionando o Brasil como o terceiro maior produtor mundial de frutas. Entre as principais frutas, a manga e a uva se destacam, ocupando a primeira e terceira posição nas exportações. Este estudo analisa os preços de duas variedades de manga (Palmer e Tommy Atkins) e duas de uva (Itália e Benitaka) produzidas no Vale do São Francisco, uma região relevante para essas produções e exportações. Os dados de preços médios semanais foram obtidos pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA/USP). A partir das séries de preços obtidas, calculamos retornos logarítmicos e a volatilidade. Aplicamos os métodos Detrended Fluctuation Analysis (DFA) e Detrended Cross-Correlation Analysis (DCCA), que são úteis para a identificação de presença de autocorrelação e correlações entre duas séries temporais simultaneamente. O coeficiente de correlação cruzada ( $\rho$ DCCA) foi usado para inferir o nível de correlação cruzada. Os resultados indicaram maior persistência nas séries de volatilidade e dois regimes com antipersistência para maiores escalas nas séries de retorno. As correlações cruzadas sugerem que as flutuações de preços da variedade líder de exportação (Tommy Atkins) afetam mais os preços no mercado interno (variedade Palmer). O coeficiente de correlação cruzada apontou para uma correlação mais forte entre as séries de retorno.

**Palavras-chave:** Séries temporais; Fruticultura; Detrended fluctuation analysis; Detrended Cross-Correlation Analysis; Detrended Cross-Correlation Coefficient.

## Correlation analysis in time series of fruit prices produced in the São Francisco Valley

**Abstract:** Agribusiness is a significant economic activity in Brazil, representing 26.6% of the GDP in 2020. Fruit farming is a prominent sector, contributing to both the domestic and international markets and generating millions of direct jobs. The total production of fresh fruits in 2020 exceeded 44 million tons, positioning Brazil as the third-largest fruit producer in the world. Among the key fruits, mango and grapes stand out, ranking first and third in exports. This study analyzes the prices of two varieties of mango (Palmer and Tommy Atkins) and two of grapes (Italia and Benitaka) produced in the São Francisco Valley, a region of relevance for these productions and exports. The weekly average price data were obtained from the Center for Advanced Studies in Applied Economics (CEPEA/USP). Using the obtained price series, we calculated logarithmic returns and volatility. We applied the Detrended Fluctuation Analysis (DFA) and Detrended Cross-Correlation Analysis (DCCA) methods, which are useful for identifying the presence of autocorrelation and correlations between two time series simultaneously. The cross-correlation coefficient ( $\rho$ DCCA) was used to infer the level of cross-correlation. The results indicated higher persistence in the volatility series and two regimes with antipersistence for larger scales in the return series. Cross-correlations suggest that price fluctuations of the leading export variety (Tommy Atkins) have a greater impact on prices in the domestic market (Palmer variety). The cross-correlation coefficient pointed to a stronger correlation between the return series.

**Keywords:** Time series; Fruit farming; Detrended fluctuation analysis; Detrended Cross-Correlation Analysis; Detrended Cross-Correlation Coefficient.

<sup>†</sup>Autor correspondente: [brunofreitas071098@gmail.com](mailto:brunofreitas071098@gmail.com).

**Sigmae**, Alfnas, v.12, n.3, p. 67-81, 2023.

67ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBras) e 20º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica (SEAGRO)

## Introdução

O agronegócio brasileiro, que engloba diversas atividades agrícolas e pecuárias, é uma das principais forças econômicas do país. Sua relevância é evidenciada pelo fato de representar 26,6% do PIB em 2020, um aumento de 24,31% em relação a 2019, totalizando quase R\$ 2 trilhões em valor (CNA; CEPEA, 2021).

Neste sentido, destaca-se também a fruticultura. Contribuindo diretamente na economia atendendo ao mercado interno e externo, o comércio de frutas cresceu expressivamente nas últimas décadas. Com a geração de milhões de empregos diretos, o setor representa 16% da mão de obra do agronegócio. Em 2020, a produção de frutas frescas superou 44 milhões de toneladas, consolidando o Brasil como o terceiro maior produtor global, atrás apenas da China e Índia, que registraram 265 e 93 milhões de toneladas em 2018, respectivamente (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI&FRUTI, 2021).

Em 2020, as exportações de frutas frescas e seus derivados, semiprocessados e processados, alcançaram um marco histórico, ultrapassando um milhão de toneladas, um aumento de 6% em relação a 2019, e gerando receitas de US\$ 875 milhões, um acréscimo de 3% em comparação com o ano anterior. Os principais destinos incluíram Países Baixos, Estados Unidos, Reino Unido e Espanha. As frutas que mais se destacaram em termos de receita foram manga (US\$ 246.9 milhões), melão (US\$ 147.9 milhões) e uva (US\$ 105.4 milhões) (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI&FRUTI, 2021).

Uma das principais contribuintes destes valores apresentados é a região do Vale do São Francisco (VSF), mais especificamente, o Vale do Submédio São Francisco. Localizado no Semiárido de Pernambuco e Bahia, ganha destaque devido aos investimentos em irrigação, pesquisa, produção e exportação.

É relevante ressaltar que a melhora do setor em questão depende de diversos fatores, não sendo garantido um melhor desempenho unicamente com a aplicação direta de avanços tecnológicos na produção e gestão, pois é vulnerável às instabilidades provocadas por fatores externos imprevisíveis ou incontroláveis, por exemplo: variações climáticas, produção de alimentos nos países fornecedores e as variações das taxas cambiais. A imprevisibilidade afeta diretamente no preço final do produto agrícola comercializado, podendo provocar flutuações consideráveis.

Sendo assim, para obter lucratividade, o setor produtivo da fruticultura deve adotar elevados níveis de organização e planejamento. Isso inclui o acompanhamento das inovações tecnológicas e dos processos relacionados à cadeia produtiva, bem como a formulação de estratégias em sintonia com a oferta e a demanda dos mercados interno e externo, que estão cada vez mais exigentes. Nesse contexto, conhecer as variações na oferta e na demanda de frutas permite aos produtores programar a colheita em épocas de melhores preços, como na entressafra (SENAR, 2017).

Diante da complexidade de fatores que podem influenciar os preços dos produtos no mercado agrícola, escolher uma abordagem quantitativa adequada para o estudo de propriedades estatísticas pode ser desafiador. Embora métodos estatísticos tradicionais sejam comumente empregados para analisar correlações e transmissões de preços entre os mercados agrícolas (BECKMANN; CZUDAJ, 2014; DE NICOLA; DE PACE; HERNANDEZ, 2016), abordagens baseadas na mecânica estatística, pertencentes ao campo da Econofísica, têm fornecido novos insights que aprimoram nossa compreensão das variações e relações de preços em produtos agrícolas (PAL; MITRA, 2018; LIMA et al., 2019).

Este estudo visa aprofundar nossa compreensão da evolução dos preços de mangas e uvas produzidas no Vale do São Francisco ao longo das últimas duas décadas, explorando correlações de longo alcance e cruzadas entre esses preços. Utilizamos técnicas da Econofísica para séries temporais não estacionárias, incluindo a Detrended Fluctuation Analysis (DFA) (PENG et al., 1994), que investiga a relação entre a variância e a escala temporal da análise, a Detrended Cross-Correlation Analysis (DCCA) (PODOBNIK; STANLEY, 2008), que quantifica a covariância entre séries, e o Detrended Cross-Correlation Coefficient (*DCCA*) (ZEBENDE, 2011), para quantificar o nível de correlação cruzada entre séries.

Analizamos as séries semanais de preços de duas variedades de cada fruta de interesse. A variedade de manga “Tommy Atkins”, que ganha espaço na exportação por possuir características essenciais relacionadas a fatores pós-colheita, como resistência ao manuseio e transporte, e a variedade “Palmer” por apresentar aumento significativo de sua oferta (DE OLIVEIRA ARAÚJO; MORAES; DE CARVALHO, 2017). A variedade de uva “Itália”, presente na consolidação da viticultura tropical brasileira na região do Vale do São Francisco (CAMARGO, 1998), e a variedade “Benitaka”, originada de mutação somática na cultivar “Itália”, destaca-se pelo acentuado desenvolvimento da coloração rosada escura, atraindo o interesse dos produtores, além de apresentar boa conservação pós-colheita (LEÃO, 2010).

## Metodologia

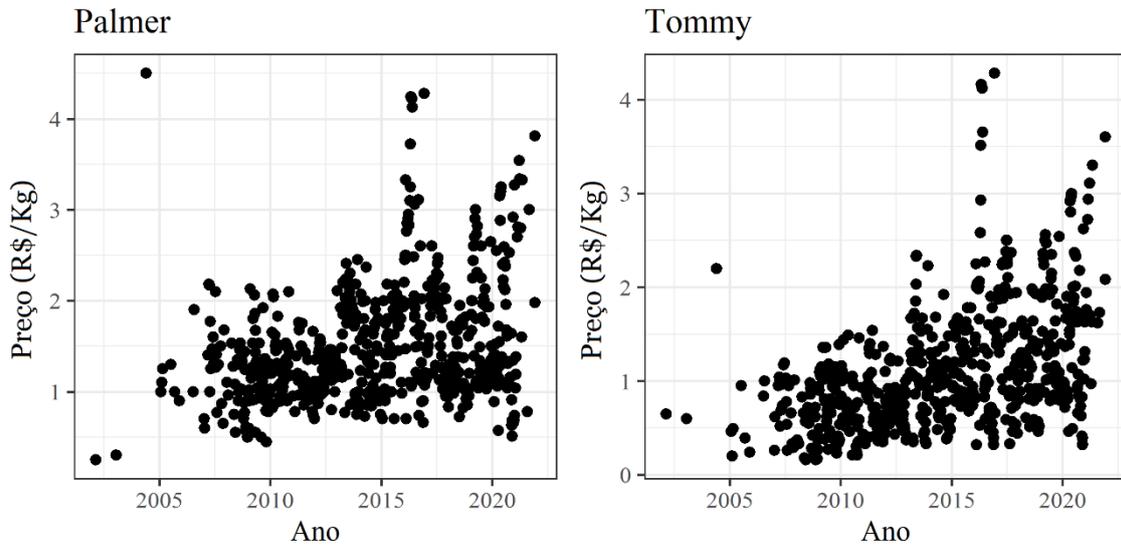
Foram aplicados os métodos DFA e DCCA para investigar correlações de longo alcance e cruzadas entre as séries temporais mencionadas. Em seguida, calculamos o coeficiente de correlação cruzada sem tendência (*DCCA*) para avaliar o nível dessas correlações. A implementação desses métodos foi realizada com o uso de um software personalizado desenvolvido em linguagem de programação C e o software R (versão 4.1.0).

### Descrição dos Dados

Foram utilizados dados de preços médios semanais em reais por quilograma (R\$/kg) das variedades de manga "Tommy Atkins" e "Palmer" e das variedades de uva "Itália" e "Benitaka" produzidas no Vale do São Francisco. Os dados abrangem o período de 03 de janeiro de 2001 a 26 de março de 2021 e foram obtidos 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, 2021). Além disso, foram analisadas séries temporais de log-retornos  $R_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1})$  e de volatilidade  $V_t = |R_t|$ , em que  $P_t$  representa o preço do produto na semana  $t$ .

A Figura 1 mostra as séries temporais originais dos preços semanais das mangas "Tommy Atkins" e "Palmer". Ambas as variedades exibem preços concentrados entre R\$ 0,20 e R\$ 2,50 durante a década de 2005-2015. Após esse período, houve um aumento significativo, com valores superiores a R\$ 4,00 no início de 2016 devido à baixa oferta no mercado nacional em resposta às condições climáticas desfavoráveis (ROCHA; PAGLIUCA, 2016a). Posteriormente, os preços diminuíram no final do primeiro semestre de 2016, retornando a níveis históricos de preços devido ao aumento da oferta nacional e à redução da demanda nas regiões Sul e Sudeste (ROCHA; PAGLIUCA, 2016b). No final de 2019 e início de 2020, os preços começaram a subir devido ao foco dos produtores na exportação, aproveitando a favorável taxa de câmbio R\$ - US\$, alcançando novos recordes de exportações (SPESSOTTO; GERALDINI, 2020).

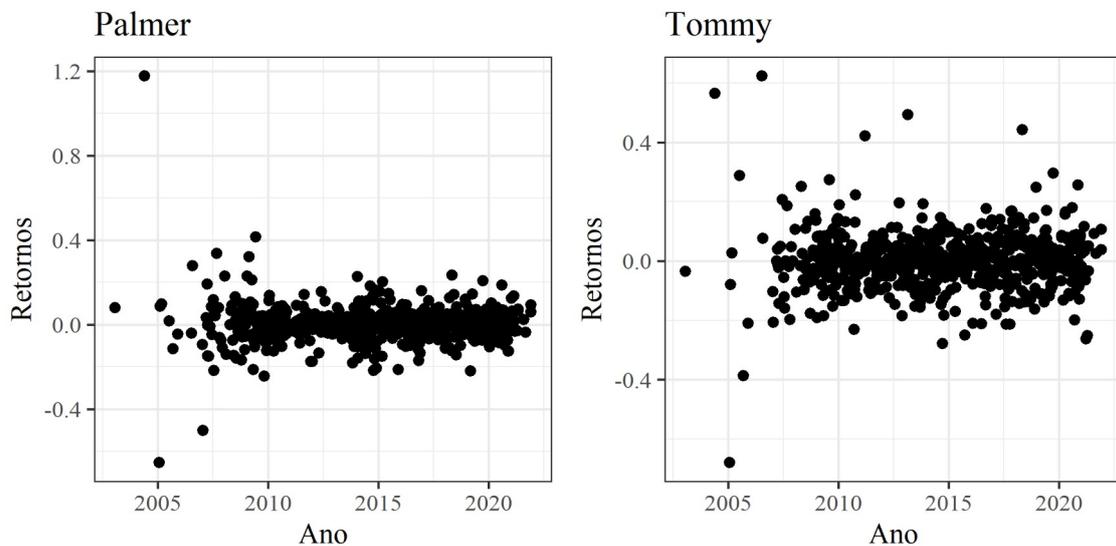
Figura 1: Séries temporais originais dos preços das mangas (a) Palmer e (b) Tommy Atkins.



Fonte: CEPEA. Elaborada pelo autor.

A Figura 2 mostra as séries temporais de retornos dos preços semanais das mangas "Tommy Atkins" e "Palmer". Observa-se que há maiores valores de retorno anteriormente a 2010 para as duas variedades. Os valores de retornos oscilam, em sua maioria, entre -0,4 e 0,4.

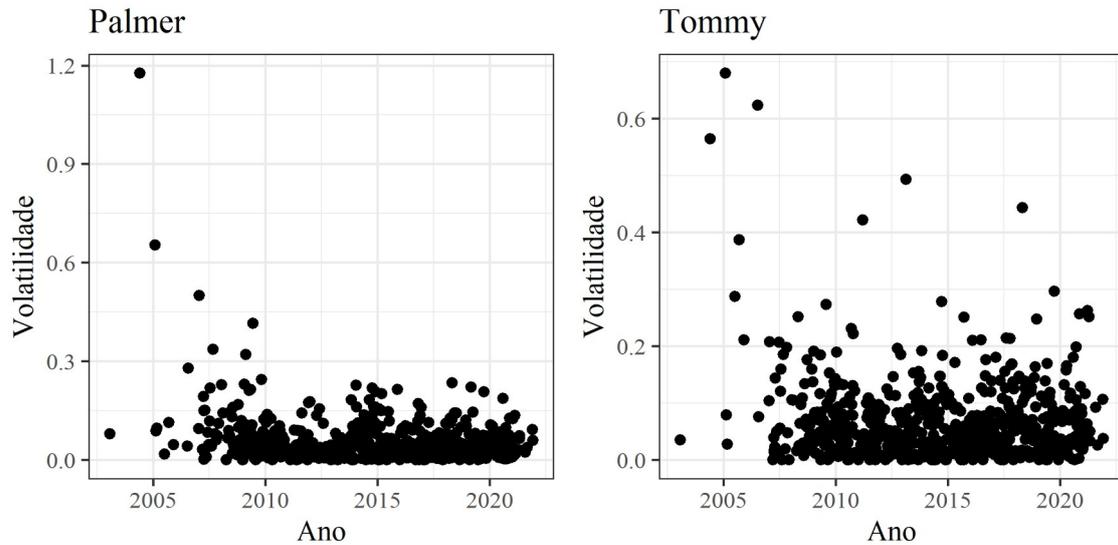
Figura 2: Séries temporais de retornos dos preços das mangas (a) Palmer e (b) Tommy Atkins.



Fonte: CEPEA. Elaborada pelo autor.

A Figura 3 mostra as séries temporais de volatilidade dos preços semanais das mangas "Tommy Atkins" e "Palmer". Nota-se que a volatilidade diminui pouco com o passar do tempo e fica abaixo de 0,3 em sua maioria.

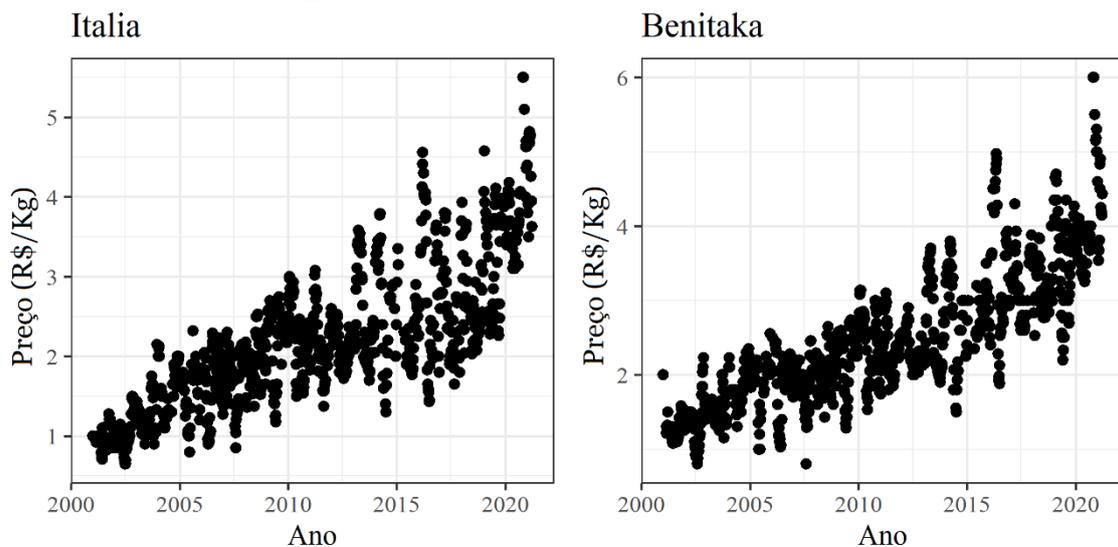
Figura 3: Séries temporais de volatilidade dos preços das mangas (a) Palmer e (b) Tommy Atkins.



Fonte: CEPEA. Elaborada pelo autor.

A Figura 4 mostra as séries temporais originais dos preços semanais das uvas "Itália" e "Benitaka". Em ambas as variedades se nota elevação dos preços, chegando a quintuplicar do início do período analisado ao fim, saindo de valores oscilantes em torno de R\$1,00 para valores ao redor de R\$5,00. O fator resultante da alta valorização no segundo semestre de 2020 foi o volume insuficiente para abastecimento dos mercados interno e externo. Ainda em recuperação, afetada pelas chuvas no primeiro semestre, a produtividade não foi alta e com uma forte demanda internacional por uvas brasileiras no decorrer do ano, agregado com taxa de câmbio favorável para exportação, os preços das uvas no mercado brasileiro ficam elevados (CASTILHA; PALMIERI, 2020).

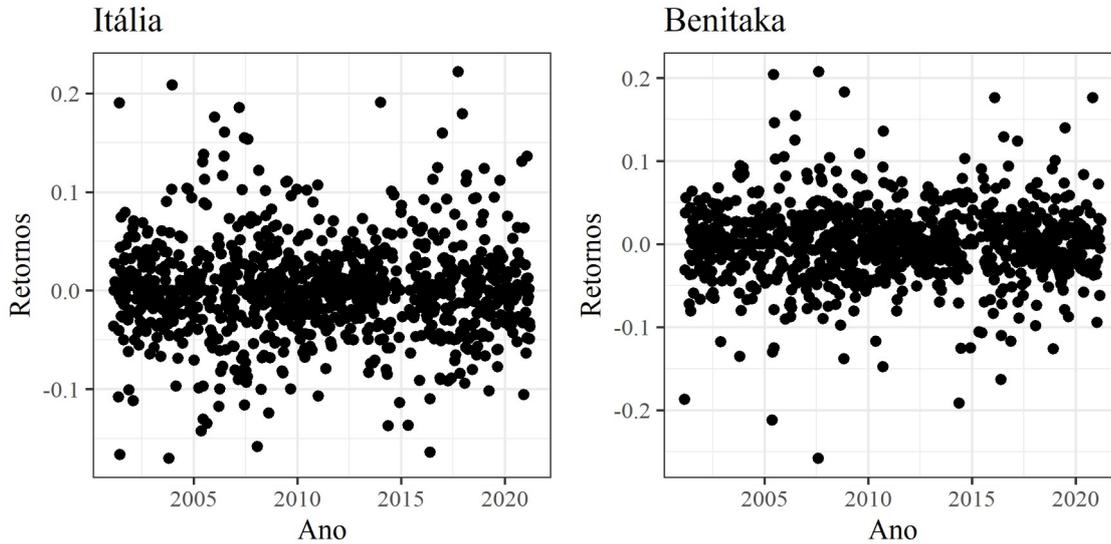
Figura 4: Séries temporais originais dos preços das uvas (a) Itália e (b) Benitaka.



Fonte: CEPEA. Elaborada pelo autor.

A Figura 5 mostra as séries temporais de retornos dos preços semanais das uvas "Itália" e "Benitaka". Diferente das variedades de manga, observadas anteriormente, ambas variedades de uva apresentam menores valores de retorno, oscilando, em sua maioria, entre -0,1 e 0,1.

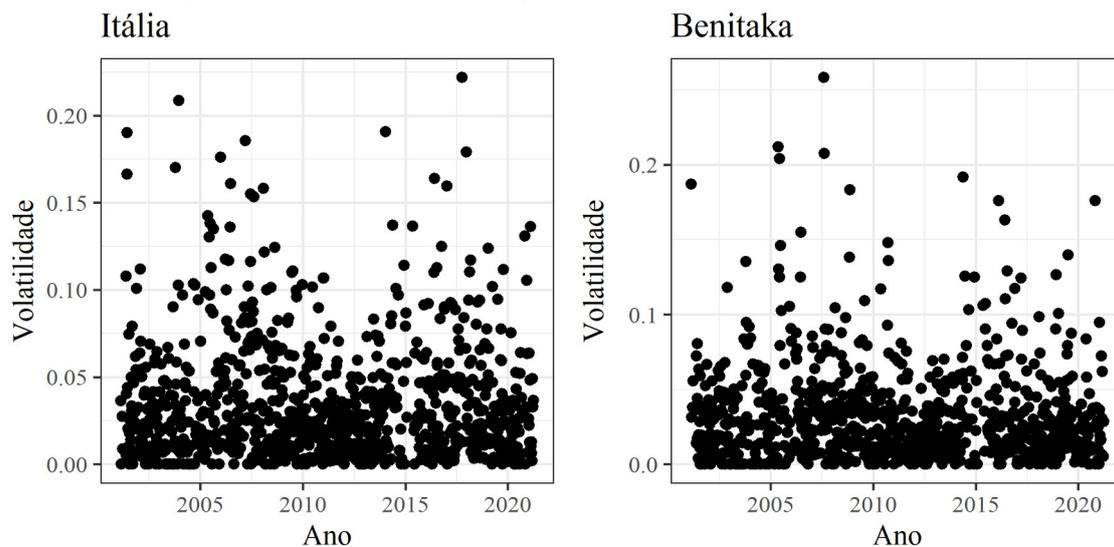
Figura 5: Séries temporais de retornos dos preços das uvas (a) Itália e (b) Benitaka.



Fonte: CEPEA. Elaborada pelo autor

A Figura 6 mostra as séries temporais de volatilidade dos preços semanais das uvas "Itália" e "Benitaka". Como esperado, por apresentarem menores valores de retorno, ambas variedades de uva são menos voláteis que as variedades de manga estudadas, mantendo-se abaixo do valor 0,1 na maior parte do tempo.

Figura 6: Séries temporais de volatilidade dos preços das uvas (a) Itália e (b) Benitaka.



Fonte: CEPEA. Elaborada pelo autor.

### **Detrended Fluctuation Analysis (DFA)**

Introduzida por Peng *et al.* (1994) em um estudo de dependência de longo alcance em sequências de DNA, a análise de flutuações sem tendência (*Detrended Fluctuation Analysis* – DFA) consolidou-se como um método poderoso para a quantificação de correlações de longo alcance em uma série temporal que não apresente estacionariedade.

A implementação do algoritmo DFA pode ser descrita a partir de cinco passos:

1 – Considere a série temporal  $\{x_i\}$  com  $i=1, \dots, N$  (comprimento). Integra-se  $x_i$  para obter

$$X_k = \sum_{i=1}^k [x_i - \langle x \rangle],$$

sendo  $\langle x \rangle$  o valor médio da série;

2 – A série integrada  $X_k$  é dividida em caixas de igual comprimento  $n$  (escala temporal). Neste estudo utilizamos caixas sobrepostas com início em  $N-n+1$  dados sucessivos;

3 – Para cada caixa  $v=1, \dots, N-n+1$  calcula-se a tendência local (ajuste linear)  $X_{k,v}$  e é subtraída da série integrada  $X_k$ , obtendo-se a variância sem tendência

$$f_{DFA}^2(n, v) = \frac{1}{n} \sum_{k=v}^{v+n-1} (X_k - X_{k,v})^2;$$

4 – Depois, para uma dada escala temporal de comprimento  $n$  a função de flutuação,  $F_{DFA}(n)$ , é calculada por:

$$F_{DFA}(n) = \sqrt{\frac{1}{(N-n+1)} \sum_{v=1}^{N-n+1} f_{DFA}^2(n, v)};$$

5 – Os passos acima são repetidos para uma gama de escalas temporais compreendidas por,  $10 \leq n \leq \frac{N}{4}$ , para finalmente obter-se uma relação entre  $F_{DFA} \times n$ .

Havendo correlações de longo prazo na série original,  $F_{DFA}(n)$  aumentará com  $n$  de acordo com uma lei de potência  $F_{DFA}(n) \sim n^\alpha$ . Com a inclinação da regressão linear de  $\log F_{DFA}(n)$  versus  $\log n$  é possível obter o expoente escalar  $\alpha$ . Sendo  $0 < \alpha < 1$ , o expoente DFA é igual ao expoente de Hurst  $H$  descrevendo autocorrelações nas séries originais. São três possibilidades indicadas a partir desse expoente escalar: ausência de correlações ( $\alpha=0,5$ ), correlações persistentes ( $\alpha > 0,5$ ) e correlações antipersistentes ( $\alpha < 0,5$ ).

### **Detrended Cross-Correlation Analysis (DCCA)**

Introduzida por Podobnik e Stanley (PODOBNIK; STANLEY, 2008) como uma generalização do método DFA, a análise de correlações cruzadas sem tendência (*Detrended Cross-Correlation Analysis* – DCCA) é útil para mensurar correlações entre duas séries temporais simultaneamente.

A implementação do algoritmo DCCA pode ser descrita a partir de cinco passos:

1 – Considere duas séries temporais  $\{x_i\}$  e  $\{y_i\}$  com  $i=1, \dots, N$  (comprimento). Integra-se  $x_i$  e  $y_i$  para obter

$$X_k = \sum_{i=1}^k [x_i - \langle x \rangle] \text{ e } Y_k = \sum_{i=1}^k [y_i - \langle y \rangle],$$

sendo  $\langle x \rangle$  e  $\langle y \rangle$  os valores médios das séries;

2 – As séries integradas  $X_k$  e  $Y_k$  são divididas em  $(N-n+1)$  caixas (sobrepostas) de igual comprimento  $n$  (escala temporal);

3 – Para cada caixa  $v=1, \dots, N-n+1$  calculam-se as tendências locais (ajuste linear) em  $X_k$  e  $Y_k$ , obtendo  $X_{k,v}$  e  $Y_{k,v}$  e são subtraídas das séries integradas  $X_k$  e  $Y_k$ , respectivamente, obtendo-se

$$f_{DCCA}^2(n, v) = \frac{1}{n} \sum_{k=v}^{v+n-1} (X_k - X_{k,v})(Y_k - Y_{k,v}); \quad (3.5)$$

4 – Depois, para uma dada escala temporal de comprimento  $n$  a covariância sem tendência  $F_{DCCA}^2(n)$ , é calculada por:

$$F_{DCCA}^2(n) = \frac{1}{(N-n+1)} \sum_{v=1}^{N-n+1} f_{DCCA}^2(n, v); \quad (3.6)$$

5 – Os passos acima são repetidos para uma gama de escalas temporais compreendidas por,  $10 \leq n \leq \frac{N}{4}$ , para finalmente obter-se uma relação entre  $F_{DCCA} \times n$ .

Havendo correlações de longo prazo nas séries originais,  $F_{DCCA}(n)$  aumentará com  $n$  de acordo com uma lei de potência  $F_{DCCA}(n) \sim n^\lambda$ . Com a inclinação da regressão linear de  $\log F_{DCCA}(n)$  versus  $\log n$  é possível obter o expoente escalar  $\lambda$ , cuja interpretação é similar à do expoente  $\alpha$  do método DFA.

### **Detrended Cross-Correlation Coefficient (□□□□□)**

Introduzido por Zebende (ZEBENDE, 2011) o coeficiente de correlação cruzada –  $\rho_{DCCA}$  é útil para inferir o nível da correlação cruzada, ele é expresso da seguinte forma

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

em que  $F_{DCCA}^2(n)$  é a covariância sem tendência obtida pelo método DCCA, enquanto  $F_{DFA_1}(n)$  e  $F_{DFA_2}(n)$  retratam as funções de flutuação obtidas pelo método DFA.

O coeficiente pode variar entre o valor mínimo -1 (correlação cruzada negativa perfeita) e o valor máximo 1 (correlação cruzada positiva perfeita), análogo ao coeficiente de Pearson. Caso as séries analisadas não apresentem correlações cruzadas, ele irá oscilar próximo a zero, em contrapartida para séries anticorrelacionadas será estritamente negativo e para séries correlacionadas estritamente positivo.

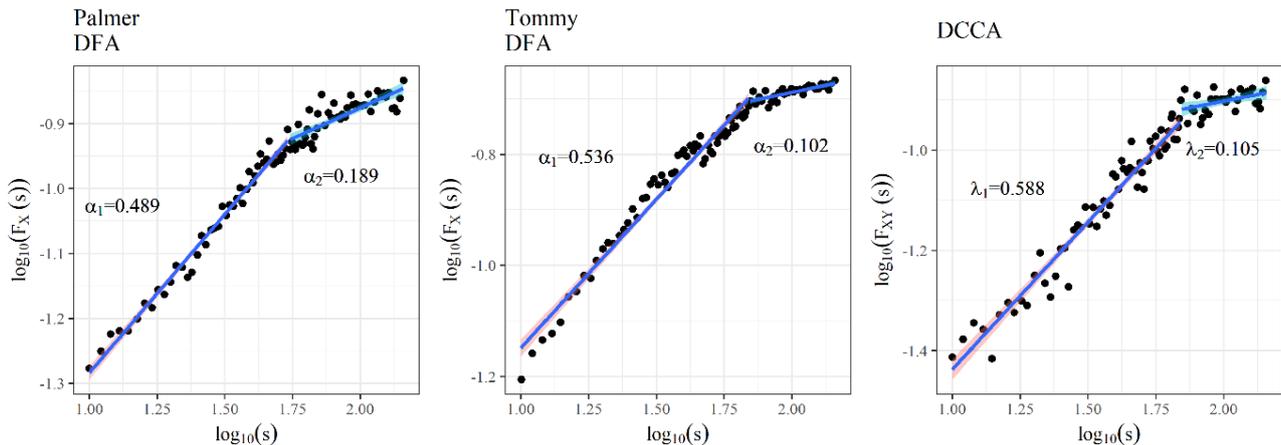
## **Resultados e Discussão**

Para atingir o objetivo deste estudo, apresentamos a seguir os resultados obtidos a partir da análise das séries temporais de retorno e volatilidade dos preços das mangas das variedades "Tommy Atkins" e "Palmer", assim como das variedades de uvas "Itália" e "Benitaka", produzidas no Vale do São Francisco. Os expoentes ( $\alpha$ ) e ( $\lambda$ ) das análises estão ilustrados nas Figuras 7 e 8 para as séries de retorno e volatilidade dos preços das mangas, respectivamente, e nas Figuras 9 e 10 para as séries de retorno e volatilidade dos preços das uvas, respectivamente.

Na Figura 7a e 7b, observamos que os retornos de preços de ambas as variedades não apresentam correlações de longo alcance ( $\square \sim 0,5$ ) até a escala temporal de 66 semanas ( $\log_{10}(s) \sim 1,75$ ) para a variedade "Palmer" e até a escala de 70 semanas ( $\log_{10}(s) \sim 1,84$ ) para a variedade "Tommy Atkins". A partir dessas escalas, as séries de retornos de preços mostram correlações de

longo alcance antipersistentes ( $\square < 0,5$ ), ou seja, se o retorno aumenta de uma semana para a outra, é mais provável que diminua na semana seguinte. As correlações cruzadas (Figura 7c) apresentam persistência ( $\square > 0,5$ ) até a escala de 70 semanas ( $\log_{10}(s) \sim 1,84$ ), e depois disso,  $\square < 0,5$ , indicando que em escalas maiores de 70 semanas, as correlações cruzadas tornam-se antipersistentes – ou seja, o aumento (diminuição) dos preços de uma variedade tem maior probabilidade de ser seguido por uma diminuição (aumento) nos preços de ambas as variedades.

Figura 7: Análise DFA (a, b) e DCCA (c) das séries de retornos das mangas Palmer e Tommy Atkins.

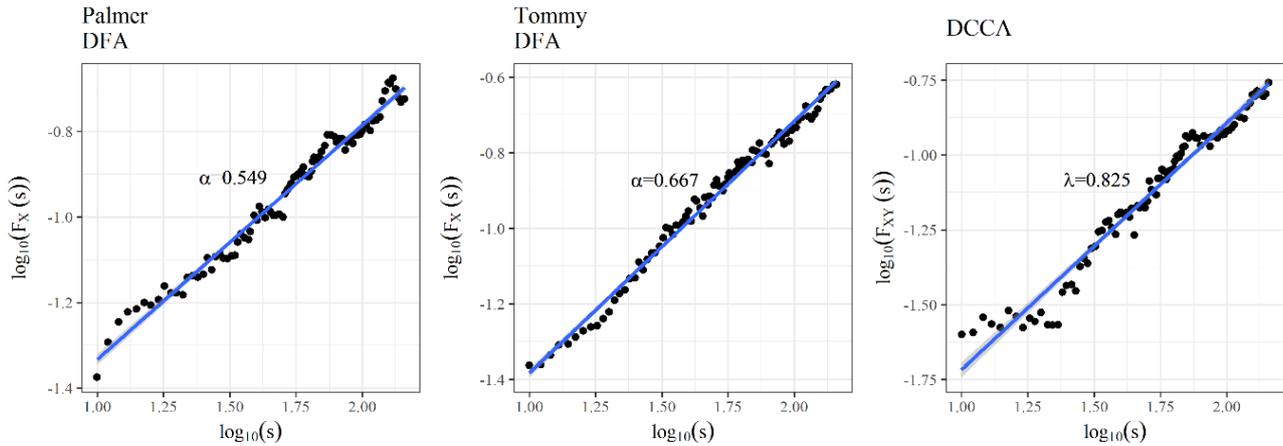


Fonte: Elaboração própria.

A escala temporal que separa os dois regimes de escala (efeito crossover) e os valores dos expoentes de escala  $\square$  são mais semelhantes aos expoentes de escala  $\square$  da variedade "Tommy Atkins", indicando que as flutuações de preços desta variedade exercem uma influência maior sobre as flutuações de preços da variedade "Palmer". Esse achado está em linha com um estudo anterior realizado por Lima, Silva e Santos (2013), que concluiu que os preços da manga são diretamente impactados por fatores externos, como a taxa de câmbio e os preços no mercado internacional. A variedade "Tommy Atkins" possui características que a tornam bem adaptada a técnicas de manejo, suporta o transporte pós-colheita e é visualmente atrativa, o que lhe confere uma forte presença nos mercados da União Europeia e dos Estados Unidos (DE OLIVEIRA ARAÚJO; MORAES; DE CARVALHO, 2017). Portanto, os preços dessa variedade flutuam de acordo com o mercado externo, o que tem um impacto direto na oferta no mercado interno e nos preços de outras variedades dessa fruta.

Na Figura 8, observamos que os expoentes de escala DFA ( $\alpha$ ) e DCCA ( $\lambda$ ) são maiores do que 0,5, o que indica a presença de correlações de longo alcance persistente nas séries de volatilidade das variedades de manga "Palmer" e "Tommy Atkins". A persistência é mais pronunciada na variedade "Tommy Atkins" que é mais afetada por fatores externos. Além disso, observa-se a existência de correlações cruzadas de longo alcance persistente entre essas duas variedades, destacando a ligação entre elas.

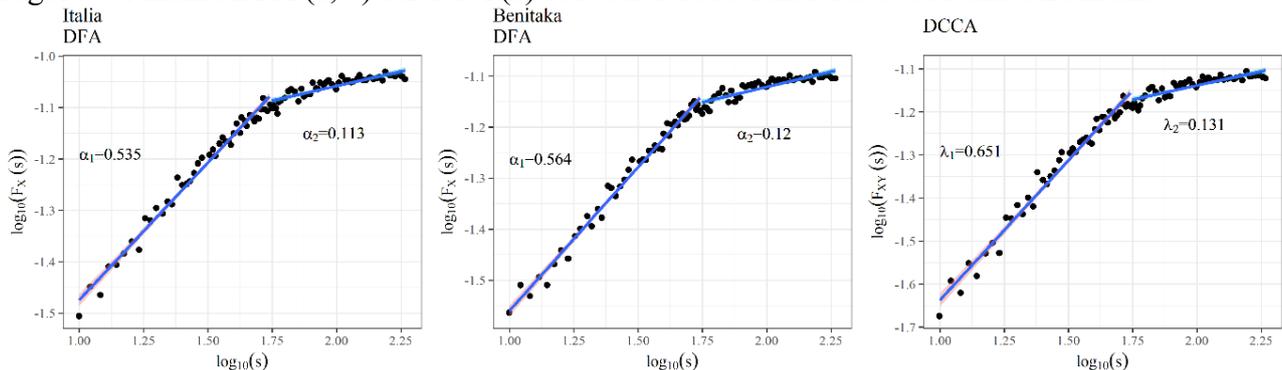
Figura 8: Análise DFA (a, b) e DCCA (c) das séries de volatilidade das mangas Palmer e Tommy Atkins.



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 9a e 9b vemos que os retornos de preços das duas variedades de uva também apresentam ausência de correlações de longo alcance ( $\square \sim 0,5$ ) até a escala temporal de 66 semanas ( $\log_{10}(s) \sim 1,75$ ), sendo a mesma escala identificada para a variedade de manga “Palmer”. Após esta escala temporal inicia-se um segundo regime, neste existem correlações de longo alcance antipersistentes ( $\square < 0,5$ ), com diferença ínfima entre as variedades consideradas, significando que o aumento (diminuição) dos preços tem maior probabilidade de ser seguido por diminuição (aumento). Na figura 9c pode ser observado que as correlações cruzadas, DCCA, apresentam persistência ( $\square > 0,5$ ) também até a escala de 66 semanas ( $\log_{10}(s) \sim 1,75$ ), mudando para correlações cruzadas antipersistentes ( $\square < 0,5$ ) nas escalas maiores de 66 semanas. Os valores verificados nos expoentes escalares  $\alpha$  (DFA) e  $\lambda$  (DCCA) são próximos, principalmente no segundo regime.

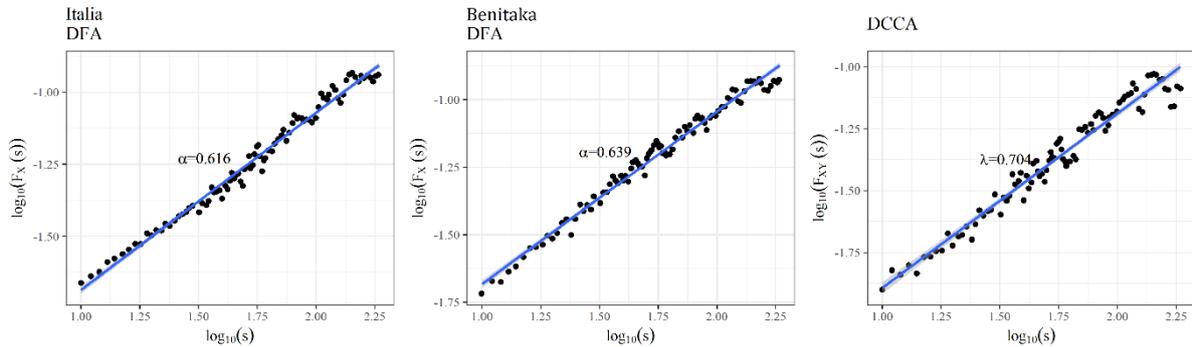
Figura 9: Análise DFA (a, b) e DCCA (c) das séries de retornos das uvas Itália e Benitaka.



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 10, observamos os expoentes da escala DFA ( $\alpha$ ) e DCCA ( $\lambda$ ), indicam a presença de correlações de longo alcance persistente ( $\alpha > 0,5$ ), da mesma forma, indicam a presença de correlações cruzadas persistentes ( $\lambda > 0,5$ ) em séries de volatilidade das variedades de uva retratadas. Isso nos diz que o aumento (diminuição) de volatilidade tem maior probabilidade de ser seguido por mais aumento (diminuição) de volatilidade.

Figura 10: Análise DFA (a, b) e DCCA (c) das séries de volatilidade das uvas Itália e Benitaka.



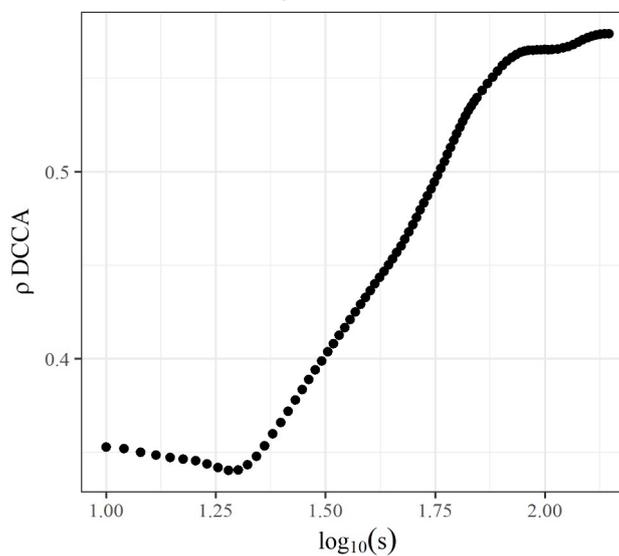
Fonte: Elaboração própria.

Nas Figuras 11 e 12, exibimos os coeficientes de correlação cruzada ( $\rho$ DCCA) para as séries de retornos e volatilidade dos preços das mangas, enquanto nas Figuras 13 e 14 apresentamos os coeficientes para as séries de retornos e volatilidade dos preços das uvas, respectivamente.

Na Figura 11, observamos que as séries de retornos apresentam correlações positivas ( $\rho$ DCCA > 0) ao longo de todo o período analisado. Embora haja uma diminuição na correlação em escalas menores, essa tendência se inverte à medida que a escala temporal aumenta. A partir da escala de 20 semanas ( $\log_{10}(s) \sim 1,3$ ), a correlação aumenta de forma mais acentuada, mantendo-se acima de 0,55 até a escala de 87 semanas ( $\log_{10}(s) \sim 1,94$ ).

Figura 11:  $\rho$ DCCA das séries de retornos das mangas Palmer e Tommy Atkins.

Palmer vs Tommy

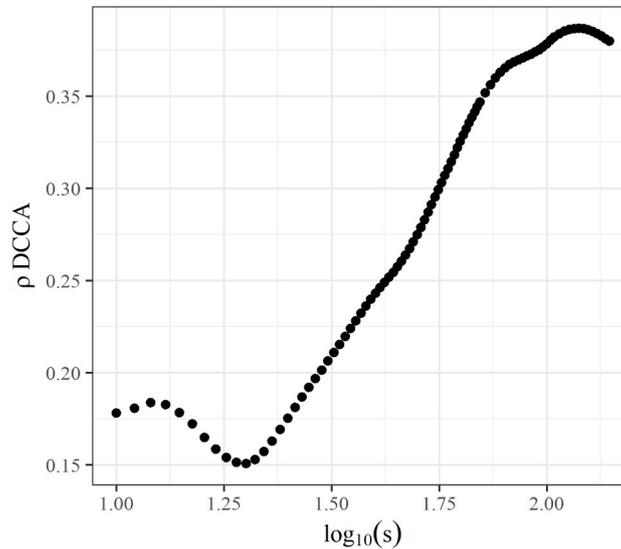


Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 12, podemos observar que o coeficiente de correlação cruzada da volatilidade dos preços segue um padrão semelhante ao dos retornos de preços, com uma diminuição em escalas menores, seguida por um notável aumento. No entanto, é importante notar que o coeficiente de correlação da volatilidade permaneceu inferior ao observado anteriormente, desde o início do período analisado, indicando que as séries de retorno de preços têm correlações mais robustas.

Além disso, observa-se uma diminuição a partir da escala de 115 semanas ( $\log_{10}(s) \sim 2,06$ ), mas ainda mantendo-se em  $\rho_{DCCA} > 0,37$ .

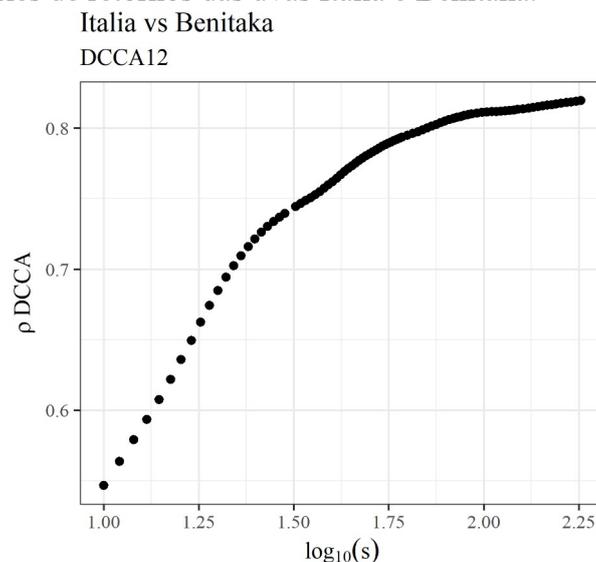
Figura 12:  $\rho_{DCCA}$  das séries de volatilidade das mangas Palmer e Tommy Atkins.  
Palmer vs Tommy



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 13, podemos observar que as séries de retornos dos preços de uva também são correlacionadas positivamente ( $\rho_{DCCA} > 0$ ) durante todo o período analisado. Porém, diferentemente do que foi visto para manga, não há diminuição para depois existir um aumento significativo com o aumento da escala temporal, nesta existindo aumento durante todo o período analisado, ou seja, no decorrer da escala temporal, as séries de retornos dos preços das duas variedades de uva possuem correlações cada vez mais fortes.

Figura 13:  $\rho_{DCCA}$  das séries de retornos das uvas Itália e Benitaka.

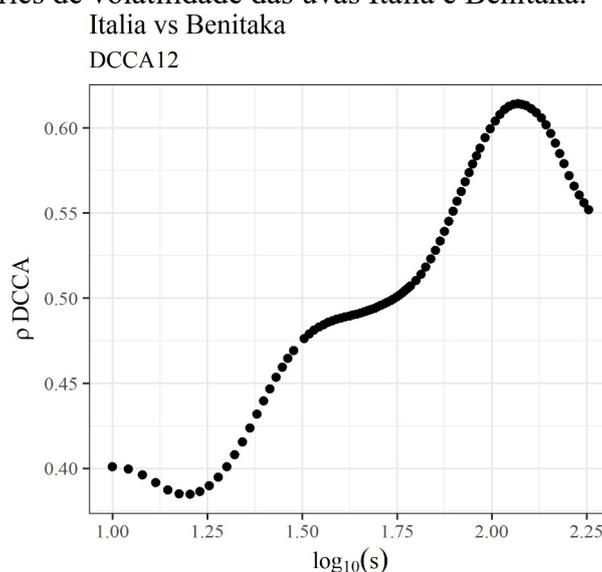


Fonte: Elaboração própria.

**Sigmae**, Alfenas, v.12, n.3, p. 67-81, 2023.

Na Figura 14, podemos notar que o coeficiente de correlação cruzada de volatilidade dos preços das uvas se comportou de maneira diferente em comparação com o das séries de retorno dos preços. Embora ambas também apresentem correlações positivas ( $\rho_{DCCA} > 0$ ), os valores são mais baixos ao longo de toda a escala temporal, e há uma diminuição a partir da escala de 115 semanas ( $\log_{10}(s) \sim 2,06$ ). Isso indica que as séries de retorno dos preços possuem correlações mais robustas.

Figura 14:  $\rho_{DCCA}$  das séries de volatilidade das uvas Itália e Benitaka.



Fonte: Elaboração própria.

## Conclusões

No decorrer deste trabalho, analisamos séries temporais originais, de retorno e de volatilidade de preços das variedades de manga ("Palmer" e "Tommy Atkins") e uva ("Itália" e "Benitaka"). Utilizamos os métodos DFA e DCCA para investigar as correlações e correlações cruzadas entre essas séries, resultando no coeficiente de correlação cruzada  $\rho_{DCCA}$  para medir essas relações.

Nossos resultados mostraram que ambas as frutas apresentam maior persistência nas séries de volatilidade e dois regimes nas séries de retorno, com antipersistência em escalas maiores. Notamos também que as correlações cruzadas entre as séries de retorno seguem um padrão de dois regimes de escala, com a manga ("Tommy Atkins") influenciando mais os preços no mercado interno (variedade "Palmer") do que o contrário. Os coeficientes de correlações cruzadas indicam uma correlação mais forte entre as séries de retorno, com comportamento semelhante entre os coeficientes das séries de retorno e volatilidade das mangas, mas comportamentos diferentes entre os coeficientes das séries de retorno e volatilidade das uvas. Nas uvas, observamos um aumento significativo durante toda a escala temporal nas séries de retorno, seguido por oscilações com uma diminuição mais acentuada após a escala de 115 semanas na volatilidade.

Esses resultados contribuem para uma compreensão mais aprofundada do comportamento, correlações de longo alcance e correlações cruzadas nas séries temporais de preços de manga e uva no Vale do São Francisco, fornecendo informações úteis para produtores e exportadores em suas

decisões. Em futuras pesquisas, é possível uma análise mais abrangente de outras frutas produzidas na região e em outros polos fruticultores, considerando também técnicas como Multifractal Detrended Cross-Correlation Analysis (MF-DCCA).

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

## Referências

ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI & FRUTI 2021. *Editora Gazeta*, Santa Cruz. 104p., 2021.

BECKMANN, Joscha; CZUDAJ, Robert. Volatility transmission in agricultural futures markets. *Economic Modelling*, v. 36, p. 541-546, 2014.

CAMARGO, Umberto Almeida. Cultivares para a viticultura tropical no Brasil. *Embrapa Uva e Vinho-Artigo em periódico indexado (ALICE)*, 1998.

CASTILHA, B.; PALMIERI, F.G. UVA/CEPEA: Pedidos externos aumentam no Vale, cenário valoriza uvas no mercado interno. *Hortifruti Brasil*, 2020. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/uva-cepea-pedidos-externos-aumentam-no-vale.aspx>. Acesso em: 15 de dez. de 2021.

CEPEA/ESALQ/USP. *Consultas ao Banco de Dados do Site* - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - CEPEA-Esalq/USP. 2021 Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/consultas-ao-banco-de-dados-do-site.aspx>. Acesso em: 16 de ago. 2021.

CNA; CEPEA. PIB do Agronegócio alcança participação de 26,6% no PIB brasileiro em 2020 *PIB do agronegócio*. [s.l: s.n.]. Disponível em: [https://www.cnabrasil.org.br/assets/arquivos/boletins/sut.pib\\_dez\\_2020.9mar2021.pdf](https://www.cnabrasil.org.br/assets/arquivos/boletins/sut.pib_dez_2020.9mar2021.pdf) . Acesso em 20 out 2021.

DE NICOLA, Francesca; DE PACE, Pierangelo; HERNANDEZ, Manuel A. Co-movement of major energy, agricultural, and food commodity price returns: A time-series assessment. *Energy Economics*, v. 57, p. 28-41, 2016.

DE OLIVEIRA ARAÚJO, Diogo; MORAES, João Artur Alves; DE CARVALHO, José Luiz Moreira. Fatores determinantes na mudança do padrão de produção e consumo da manga no mercado nacional. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 10, p. 51-73, 2017.

LEÃO, Patrícia Coelho de Souza. Breve histórico da vitivinicultura e a sua evolução na região semiárida brasileira. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, v. 7, p. 81-85, 2010.

**Sigmae**, Alfenas, v.12, n.3, p. 67-81, 2023.

67ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBras) e 20º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica (SEAGRO)

LIMA, Cristiane Rocha Albuquerque et al. Cross-correlations between Brazilian biofuel and food market: Ethanol versus sugar. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 513, p. 687-693, 2019.

LIMA, João Ricardo; SILVA, Juliana de Sales; SANTOS, Ramon K. Barbosa. Comportamento dos preços da manga exportada do Brasil: 2004-2012. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, v. 15, n. 3, 2013.

PAL, Debdatta; MITRA, Subrata K. Interdependence between crude oil and world food prices: A detrended cross correlation analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 492, p. 1032-1044, 2018.

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

PODOBNIK, Boris; STANLEY, H. Eugene. Detrended cross-correlation analysis: a new method for analyzing two nonstationary time series. *Physical review letters*, v. 100, n. 8, p. 084102, 2008.

ROCHA, Ana Clara; PAGLIUCA, Larissa. No Vale, falta manga e preço continua nas alturas, cotações são as maiores desde 2001. *Hortifruti/Cepea*, 2016. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/no-vale-falta-manga-e-preco-continua-nas-alturas.aspx>. Acesso em: 20 de set. de 2021.

ROCHA, Ana Clara; PAGLIUCA, Larissa. Preços da manga despencam no VSF, oferta nacional está aumentando e demanda segue fraca. *Hortifruti/Cepea*, 2016. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/precos-da-manga-despencam-no-vsff.aspx>. Acesso em: 20 de set. de 2021.

SENAR. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Fruticultura: colheita, pós colheita e comercialização. *Coleção Senar*: Brasília. Coleção Senar n 162, 76 p., 2017.

SPESSOTTO, Felipe; GERALDINI, Fernanda. Manga/Cepea: Preços sobem mais de 50% no vale, oferta nacional é baixa. *Hortifruti/Cepea*, 2020. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/manga-cepea-precos-sobem-mais-de-50-no-vale.aspx>. Acesso em 20 de set. de 2021.

ZEBENDE, Gillney Figueira. DCCA cross-correlation coefficient: Quantifying level of cross-correlation. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 390, n. 4, p. 614-618, 2011.