

Análise de volatilidade nos retornos dos preços spot e futuro do café arábica no período de 2007 a 2017*

Analysis of Volatility in the Returns of Spot and Future Prices of Arabica Coffee in the Period 2007 to 2017

Brena do Nascimento Carvalho, Anna Karolyna Souza Silva, Tarcísio da Costa Lobato e Adelson Martins Figueiredo **

Resumo: o café arábica é uma *commodity* importante para a economia brasileira, o Brasil é considerado o maior produtor e exportador mundial, entretanto, apresenta um dos maiores índices de volatilidade de preços, de modo que essa volatilidade atrapalha o planejamento da produção e gera instabilidades que podem gerar efeitos negativos para os produtores. Nesse sentido, o presente estudo objetiva analisar a volatilidade do retorno dos preços à vista (*spot*) e futuro do Café arábica no período de 2007 a 2017. Para isso, serão utilizados os modelos de heterocedasticidade condicional autorregressiva GARCH, EGARCH e TGARCH. Os modelos estimados demonstram a alta volatilidade dos preços do café tanto no mercado *spot* quanto no futuro para o período analisado, além da presença de assimetria nesses mercados e efeito alavancagem no mercado futuro.

Palavras-chave: Café arábica. Preços spot. Preços futuros. Retornos. Volatilidade.

Abstract: Arabica coffee is an important commodity for the Brazilian economy, Brazil is considered the world's largest producer and exporter, but it presents one of the highest price volatility index, making it difficult to plan production and generating instabilities that may have negative impacts for producers. In this sense, the present study aims to analyze the volatility of the spot price and future prices of Arabic coffee from 2007 to 2017. For this, the autoregressive conditional heteroscedasticity models GARCH, EGARCH and TGARCH will be used. The estimated models show the high volatility of coffee prices in the spot and future markets for the analyzed period, as well as the presence of asymmetry in these markets and the effect of leverage in the future market.

Keywords: Spot prices. Future Prices. Returns. Volatility.

JEL: C58. G1. G13.

* Submissão: 07/09/2020 | Aprovação: 02/03/2021 | DOI: 10.5380/re.v43i81.76292

** Respectivamente: (1) Mestra em Economia Aplicada pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Brasil | ORCID: 0000-0002-0660-8514 | E-mail: brenanc16@gmail.com | (2) Mestra em Economia Aplicada pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Brasil | ORCID: 0000-0001-7572-5928 | E-mail: annakarolyna.ssilva@gmail.com | (3) Professor do Departamento de Economia da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Brasil | ORCID: 0000-0002-2002-5622 | E-mail: tlobato@uea.edu.br | (4) Professor do Departamento de Economia da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Brasil | ORCID: 0000-0002-8396-1717 | E-mail: martinsfigueiredo2@gmail.com



1. Introdução

A comercialização de produtos agrícolas desempenha um papel importante na economia brasileira. Sendo que o café se destaca como um dos principais produtos comercializados, no qual o Brasil é considerado o maior produtor e exportador (Organização Internacional do Café – OIC, 2018).

O café apresenta uma das maiores volatilidades de preços dentre os produtos comercializados mundialmente, e esse comportamento se deve a diversas razões, tais como a oferta mundial do produto, os ataques de pragas e doenças e especulação, além de riscos associados às condições climáticas das regiões produtoras (Nunes; Saes; Brando, 2004; Brito; Leite, 2016; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2018). Dessa forma, no mercado das commodities agrícolas, os preços são frequentemente variáveis, tornando a operação neste mercado arriscada, caso não se adotem medidas que visem assegurar pelo menos o investimento (Ribeiro, 2006).

Para Lamounier (2003), a volatilidade de preços atrapalha o planejamento da produção e gera instabilidades no abastecimento. Logo, as incertezas no mercado podem gerar efeitos negativos nos preços recebidos pelos produtores agrícolas, além de atingir o desempenho econômico dos países dependentes das exportações das commodities agrícolas, como é o caso do Brasil, que é dependente de suas exportações e ganha cada vez mais espaço no mercado internacional.

Nesse contexto, Freitas e Sáfadi (2015) elucidam que analisar o comportamento dos preços figura-se como uma importante ferramenta para o planejamento das atividades agropecuárias, auxiliando na tomada de decisão tanto para o lado da oferta quanto da demanda. Salienta-se que essa análise de preços pode ser realizada por meio da modelagem da volatilidade, que fornece um padrão do comportamento dos preços.

A volatilidade pode ser observada no agrupamento de menor ou maior variabilidade, assim como na resposta assimétrica a choques positivos e negativos, dos quais podem, em determinado momento t da série, provocar intensa volatilidade no mercado, com elevadas perdas ou ganhos para os produtores (Moretin; Tolo, 2006; Teixeira *et al.* 2008; Freitas; Sáfadi, 2015). Ressalta-se que os choques negativos tendem a gerar maior volatilidade na série do que os positivos, processo esse conhecido como efeito alavancagem. Sendo assim, os modelos da classe ARCH (heterocedasticidade condicional autorregressiva)

podem ser utilizados para captar a persistência desses choques sobre os retornos dos preços, assim como a assimetria desses choques.

Desse modo, esses modelos são continuamente utilizados na literatura para avaliar a persistência e assimetria dos choques nos retornos dos preços de diversos produtos da agropecuária brasileira. Destaca-se que muitos estudos analisaram a volatilidade dos preços do café e buscaram captar possíveis efeitos assimétricos e alavancagem, no entanto, a maioria desses estudos analisou apenas uma série de tempo dos preços, à vista (spot) ou futuro, e não utilizou todas as extensões conjuntamente dos modelos da classe ARCH.

Portanto, este estudo objetiva apresentar uma análise da volatilidade nos retornos dos preços spot e futuro do café arábica no período de 2007 a 2017. Para isso, serão utilizadas três extensões do modelo ARCH: o GARCH, EGARCH e TGARCH, analisando os parâmetros estimados de reação, persistência e assimetria, além de identificar o possível efeito alavancagem em cada uma das séries de preços.

2. Revisão de literatura

Diversos estudos analisaram a volatilidade dos retornos dos preços do café arábica e buscaram captar os efeitos assimétricos no mercado spot ou futuro, utilizando-se para isso os modelos ARCH e GARCH, os quais encontraram resultados que evidenciam efeitos assimétricos positivos e efeitos assimétricos negativos nesses mercados (Martins; Castro Junior, 2006; Teixeira *et al.*, 2008; Pereira *et al.*, 2010; Moraes; Silva, 2011; Melo; Mattos, 2012; Saith; Kamitani, 2012; Rodrigues, 2020).

Martins e Castro Júnior (2006), analisando a volatilidade do mercado futuro do café brasileiro no período de 09/12//1998 a 31/12/2004, por meio dos modelos da classe ARCH/GARCH, verificaram que os retornos dos preços do café são altamente voláteis, além de apresentarem assimetria negativa, de modo que notícias ruins têm um maior efeito sobre a volatilidade dos retornos dos preços. Ademais, ao compararem os modelos estimados pelos critérios de informação, concluíram que o modelo TARCH apresentou melhor desempenho preditivo.

Teixeira *et al.* (2008) também aplicaram os modelos ARCH, GARCH, EGARCH e TGARCH para analisar o comportamento dos retornos dos preços futuros de commodities brasileiras, dentre elas, destaca-se o café, que apresentou

elevada volatilidade dos retornos no período de 1996 a 2005, além da presença de efeito assimétrico positivo, de maneira que o efeito alavancagem não foi identificado.

Pereira *et al.* (2010), analisando a volatilidade dos retornos dos preços de commodities agropecuárias brasileiras (soja, café e boi gordo) do mercado futuro para o período de 30/07/1997 a 12/11/2008, utilizaram os ARCH. Por meio da metodologia empregada, verificaram que o café apresentou maior volatilidade, além disso, os seus retornos caracterizaram-se por resposta assimétrica positiva, ou seja, o efeito alavancagem não foi identificado.

Moraes e Silva (2011) examinaram a volatilidade dos retornos diários do preço à vista do café arábica por meio dos modelos de variância condicional, no período de março de 2000 a setembro de 2010. Estimaram os modelos GARCH, EGARCH e TARARCH, os resultados demonstraram a presença de assimetria na variância dos retornos negativa, tanto para o modelo EGARCH quanto TARARCH, o que assinala que no mercado spot a volatilidade aumenta mais quando o preço da commodity cai do que quando o preço aumenta.

O estudo de Saith e Kamitani (2012) buscou analisar a volatilidade dos retornos dos preços spot diários, além da presença de assimetria de choques no mercado agropecuário brasileiro no período de janeiro de 2005 a janeiro de 2011. Para tanto, utilizaram os modelos econométricos ARCH, GARCH e TARARCH. Com base nas estimativas dos modelos, identificaram que a série do retorno diário do café apresentou alta volatilidade, além de assimetria de choques negativos, medida pelo modelo TARARCH.

O estudo desenvolvido por Melo e Mattos (2012), por meio dos modelos ARCH, GARCH, EGARCH e TGARCH, analisou a volatilidade dos retornos dos preços spot e futuro do café arábica para a mesorregião do sul de Minas Gerais, no período de 2008 a 2010. Com base nos modelos estimados, os autores constataram que os preços do café são altamente voláteis e os choques negativos têm um maior impacto sobre os retornos dos preços, de modo que a volatilidade aumenta. Salienta-se que o modelo EGARCH foi o que demonstrou o melhor ajustamento à série de retornos.

Rodrigues (2020) analisou a volatilidade dos retornos dos preços spot do café arábica, por meio dos modelos ARCH, GARCH, EGARCH e TARARCH, para o período de 1999 a 2018. Com base nas estimativas dos modelos, identificou que

a série do retorno diário do café apresentou alta volatilidade e sinais de assimetria, captada pelo modelo EGARCH, mas não pelo modelo TGARCH.

3. Metodologia

3.1 Dados e fontes

Os dados utilizados nesse estudo foram os preços futuros e à vista (spot) do café arábica, expressos em dólares por saca/60kg, a frequência dos dados é diária e abrange o período de 03/01/2007 a 28/12/2017, o que totaliza 2479 observações em cada série. A série de preços spot foi obtida na base de dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – CEPEA/ ESALQ, sendo a praça de referência desses preços o Cerrado e o Sul de Minas Gerais, Mogiana (SP), Garça (SP) e Noroeste do Paraná. Os dados referentes aos preços futuros foram obtidos na Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros de São Paulo – BM&FBOVESPA. A série é composta pelos preços de ajustes diários dos contratos deste produto com vencimento em março.

Em virtude dos feriados ou ausência de cotações, as séries de preços spot e futuro do café arábica foram compatibilizadas, isto é, foram mantidos apenas os dias comuns às duas séries. Os preços do café foram logaritimizados e, posteriormente, diferenciados, com intuito de obter a taxas de retornos dos preços spot e futuros do café arábica. Para realizar a modelagem das séries, utilizou-se o software RStudio versão 3.5.3.

3.2 Modelo econométrico

Para a análise proposta por este estudo, serão utilizadas três extensões do modelo de heterocedasticidade condicional autorregressiva (ARCH): o GARCH, EGARCH e TGARCH. O modelo ARCH foi proposto inicialmente por Engle (1982) e, posteriormente, foi generalizado por Bollerslev (1986) e passou a ser conhecido como GARCH.

De acordo com Bueno (2011), a principal razão para o surgimento desses modelos consiste no fato de que os modelos econométricos consideravam somente o primeiro momento condicional, dessa forma, as dependências temporais de ordens superiores, as quais apresentam a presença de aglomerações de volatilidade na série, eram consideradas como perturbações aleatórias, incorporadas em seus momentos incondicionais.

3.2.1 Modelo ARCH

Para Engle (1982), o retorno de um ativo qualquer não é correlacionado serialmente, mas a variância condicional (volatilidade) é a função quadrática dos retornos passados, assim, o modelo ARCH de ordem q (onde q expressa a ordem do modelo) pode ser descrito da seguinte forma:

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 \quad (1)$$

Onde: σ_t^2 é a variância condicional (volatilidade) no tempo t ; ω é a constante; α é o coeficiente de reação da volatilidade; e o ε_{t-i}^2 é o termo do erro heteroscedástico defasado em i período.

Ademais, algumas restrições são impostas ao modelo para garantir a estacionaridade e a positividade da variância condicional. De acordo com Bueno (2011), uma condição suficiente para que a variância condicional sempre seja positiva é que $\omega > 0$ e $\alpha_i \geq 0$, $\forall i, i=1,2,\dots, q$. Além disso $\sum_{i=1}^q \alpha_i < 1$ é condição necessária para que a série seja estacionária.

3.2.2 Modelo GARCH

Com intuito de obter uma formulação que apresentasse menos parâmetros, ou seja, um modelo mais parcimonioso do que o proposto por Engle (1982), Bollerslev (1986) sugeriu o modelo de heterocedasticidade condicional autorregressivo generalizado (GARCH), o qual pode ser representado da seguinte forma:

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^2 \quad (2)$$

Onde: σ_t^2 é a variância condicional no tempo t ; ω é a constante; α_i é o coeficiente de reação; ε_{t-i}^2 é o termo do erro heteroscedástico defasado de um período, e; β_j é o coeficiente de persistência da volatilidade, e σ_{t-j}^2 é a variância condicional defasada de um período a variância condicional defasada de um período.

Ressalta-se que α_i e β_j sejam iguais a zero, o modelo GARCH (p, q) é equivalente ao modelo ARCH (q).

Ademais as restrições impostas sobre os coeficientes dos modelos GARCH para que a variância seja positiva e fracamente estacionária são:

$$\begin{aligned}\omega \text{ e } \alpha_1 &\geq 0 \\ 0 &\leq \beta_1 < 1; \\ \beta_1 + \alpha_1 &< 1\end{aligned}\tag{3}$$

Além disso, a soma dos coeficientes estimados para α_i e β_j determinam as dinâmicas de curto prazo da série de tempo em função de sua respectiva volatilidade. Caso o somatório seja um valor baixo, isso indica que um choque inicial sobre a volatilidade irá gerar efeitos rápidos sob o comportamento da série, caso o valor seja alto, próximo de um, isso indica que o choque sobre a volatilidade demora mais tempo para se dissipar (Mattos; Cassuce; Muller, 2006).

Apesar de os modelos ARCH e GARCH captarem corretamente diversas características observadas nas séries históricas de finanças, eles supõem que os impactos dos choques aleatórios são simétricos, pois a volatilidade é uma função quadrática deles. Contudo, não é o que se observa na prática, pois choques no retorno de ações são assimétricos, uma vez que os negativos são seguidos por maiores aumentos na volatilidade do que os positivos (Morettin; Tolo, 2006; BUENO, 2011). Assim, foram propostos outros modelos com a capacidade de captar a assimetria dos choques, tais como os modelos EGARCH e TARCH.

3.2.3 Modelo TGARCH

O modelo de heterocedasticidade condicional autorregressivo generalizado com limiar – TGARCH – foi proposto por Zakoian (1994), e objetiva captar o efeito alavancagem, onde choques positivos e negativos no mercado causam efeitos distintos sobre a volatilidade. Este modelo pode ser representado da seguinte maneira:

$$\sigma_t^\alpha = \omega + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^\alpha + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^\alpha + \sum_{k=1}^r \gamma_k d_{(\varepsilon_{t-k} \leq 0) | \varepsilon_{t-k} |^\alpha}$$

Onde $d(\cdot)$ é a variável dummy que assume valor igual a 1 (más notícias) se o erro satisfaz a condição imposta entre parênteses, e 0 (boas notícias), caso contrário, e; o γ é o efeito assimetria.

Logo, o impacto de choques positivos, $(\varepsilon_{t-k} > 0)$ sobre a volatilidade é dado por α_i , e de choques negativos, $(\varepsilon_{t-k} < 0)$ é dado por $\alpha_i + \gamma_k$, ou seja, se o coeficiente γ for significativo e diferente de zero, a volatilidade é assimétrica. Já se ocorrer o contrário, isto é, se $\gamma_k = 0$, não há assimetria. Dessa forma, neste modelo, observa-se que a volatilidade tende a aumentar com choques negativos (Morettin; Toloi, 2006; Bueno, 2011).

3.2.4 Modelo EGARCH

De acordo com Bueno (2011), o modelo de heterocedasticidade condicional autorregressivo generalizado exponencial – EGARCH – proposto por Nelson (1991) também buscou absorver os impactos assimétricos do mercado. Contudo, apresentou uma inovação aos modelos de volatilidade, uma vez que os choques na variância passaram a ter efeito exponencial, e não quadrático, além disso, não impõe restrições aos coeficientes, permitindo assim que alguns possam ser negativos. Dessa forma, o modelo EGARCH (p, q) pode ser descrito como:

$$\ln \alpha^2 = \omega + \sum_{j=1}^p \beta_j \ln \sigma_{t-j}^2 + \sum_{i=1}^q \alpha_i [|u_{t-i}| - E(|u_{t-i}|)] + \sum_{k=1}^r \gamma_k u_{t-k} \quad (5)$$

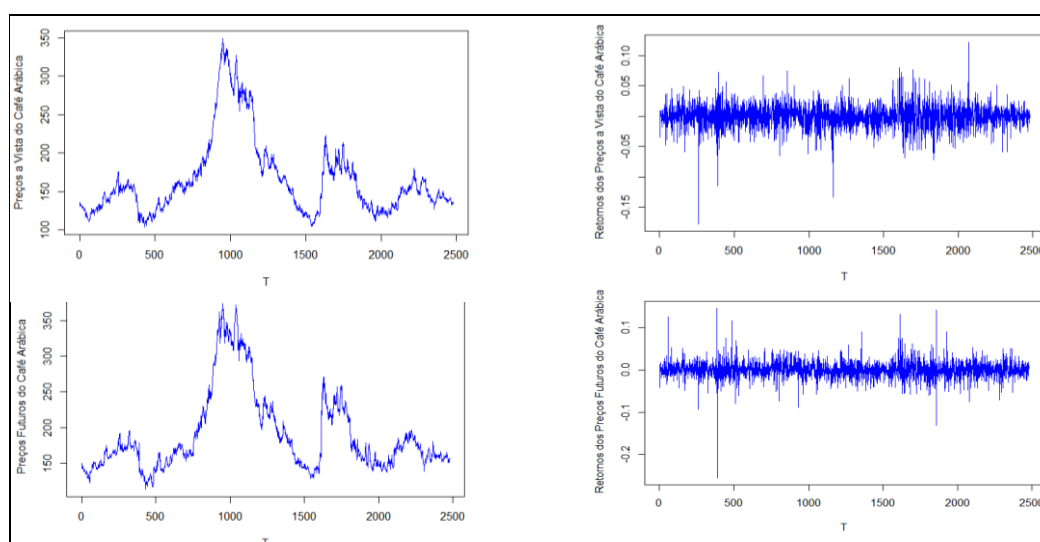
Ademais, a forma logarítmica impede que a variância seja negativa, permitindo que os parâmetros do modelo possam ser negativos. O coeficiente γ representa a assimetria do modelo. Se $\gamma_k = 0$, para todo k , não existe efeito assimetria, ou seja, choques positivos e negativos têm os mesmos efeitos na volatilidade. Entretanto, se existir um $\gamma_k \neq 0$, os impactos são assimétricos, de maneira que se $\gamma_k < 0$, há presença de efeito alavancagem, isto é, a volatilidade responde mais rapidamente a retornos negativos do que positivos (Mattos; Cassuce; Muller, 2006; Bueno, 2011).

4. Resultados e discussões

Neste tópico serão abordadas as aplicações da metodologia proposta para se analisar a volatilidade dos retornos dos preços spot e futuros do café arábica, onde primeiro será realizada a estatística descritiva das séries e, posteriormente, aplicado os modelos.

A Figura 1 apresenta o comportamento das séries de preços e retornos do preço do café para o período em análise.

Figura 1 – Séries de preços e retornos diários do Café arábica (2007 a 2017)



Fonte: elaborado pelos autores a partir de dados da pesquisa.

Conforme se pode observar, as séries de preços sugerem períodos de alta volatilidade do preço do café arábica, condizente com a existência de clusters de volatilidade em períodos específicos. Além disso, ao se analisar o gráfico das séries de retornos, observa-se que estas possivelmente são estacionárias.

Ademais, conforme pode ser observado na Tabela 1, com base nas estatísticas descritivas, é possível verificar que, em média, o retorno do preço futuro foi maior do que o preço spot, implicando assim, em maior volatilidade (risco). De acordo com Mol (2005), isso se deve ao fato de as expectativas de preço no mercado físico diferir das expectativas no mercado futuro, o que pode ser explicado por questões associadas ao mercado (oferta do produto), ao clima, entre outras.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas dos retornos dos preços do Café arábica

Estatísticas	Spot	Futuro
Média	1,35x10 ⁻⁰⁶	2,20x10 ⁻⁰⁵
Mediana	0,0004	0,0000
Mínimo	-0,1770	-0,2548
Máximo	0,1222	0,1455
Desvio-Padrão	0,0193	0,0203
Curtose	5,4853	15,5652
Assimetria	-0,4241	-0,2924

Fonte: resultados da pesquisa.

Destaca-se, ainda, a medida de curtose das séries de retornos que apresentaram valores elevados, indicando que a série possui uma distribuição leptocúrtica, ou seja, a distribuição é mais alta e concentrada que a distribuição normal. De acordo com Morettin e Tolo (2006), isso era de se esperar, visto que dados financeiros costumam apresentar caudas pesadas, sendo assim, as séries dos retornos dão indícios da presença de heterocedasticidade condicional.

Como as séries de retornos dos preços spot e futuro do café arábica sugerem ser estacionárias, é necessário verificar de forma mais rigorosa, por meio do teste de raiz unitária, os testes utilizados foram o teste de raiz unitária de Dickey Fuller-GLS (ERS) e o teste Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) que podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 – Testes de raiz unitária

Teste de Raiz Unitária		DF – GLS	KPSS	Zivot-Andrews
Com constante	Spot	-10,4963*	0,1207	-19,4684*
	Futuro	-9,3418*	0,0976	-18,7641*
Com tendência	Spot	-	0,0690	-19,2180*
	Futuro	-	0,0505	-18,6180*
Com constante e tendência	Spot	-15,4830*	-	-19,5217*
	Futuro	-14,2533*	-	-18,7966*

Nota: * significativo a 5%.

Fonte: resultados da pesquisa.

Com base nos resultados dos testes, pode-se verificar que, pelo teste de Dickey Fuller-GLS (ERS), rejeita-se a hipótese nula de presença de raiz unitária ao nível de 5% de significância, isto é, nenhuma das séries possui raiz unitária. Sendo assim, as séries de retorno podem ser consideradas integradas de ordem zero

ou estacionárias. O teste KPSS corrobora os resultados encontrados pelo teste anterior, indicando que nenhuma das séries possui raiz unitária, visto que se aceita a hipótese nula de que as séries são estacionárias, ao nível de 5% de significância.

Dado que os testes DF-GLS e KPSS podem gerar estimativas tendenciosas na presença de quebra estrutural, realizou-se o teste de Zivot-Andrews para analisar se há quebra estrutural nas séries de retornos, os resultados do teste indicam que não há indícios de quebra estrutural ao nível de 5% de significância, ou seja, os resultados do teste corroboram com os testes DF-GLS e KPSS de que as séries de retornos dos preços spot e futuro são estacionárias.

A Tabela 3 apresenta os resultados do teste de efeito ARCH do tipo multiplicador de Lagrange (Teste LM), ele foi realizado com a finalidade de verificar a existência de volatilidade das séries de retornos com efeito ARCH, tanto dos preços spot quanto dos preços futuros.

Tabela 3 – Teste ARCH – LM

Teste de Efeito ARCH	Spot	Futuro
ARCH – LM	51,662**	204,62**
<i>P-Valor</i>	0,0439	$2,2 \times 10^{-16}$

Nota: ** significativo a 5%.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os resultados do teste ARCH-LM indicam a presença do efeito ARCH na série de retornos dos preços spot e futuro do café, ao nível de 5% de significância. Diante desses resultados, isto é, da estacionariedade das séries dos retornos e da presença do efeito ARCH, pode-se estimar os modelos propostos, GARCH, EGARCH e TGARCH.

Salienta-se que os modelos foram estimados até a ordem (3,3), de acordo com a análise da FAC, da FACP e do correlograma dos retornos. Para a escolha do modelo mais adequado, conforme Morettin e Tolo (2006), podem-se usar, como critérios de ajustamento, as medidas dos critérios Akaike-AIC, Bayesiano-BIC, Hannan-Quin. Ressalta-se que o princípio da parcimônia também foi considerado, isto é, modelos com menos parâmetros (Tabela 4) serão preferíveis a modelos que tenham um maior número de parâmetros.

Para série dos retornos dos preços spot, o modelo GARCH (1,1) foi o que apresentou o menor critério em dois dos três analisados, sendo o escolhido para a

modelagem. Para a série do retorno dos preços futuro, considerou-se os critérios de informação e o princípio da parcimônia, optando-se pelo modelo GARCH (1,2) como o mais adequado.

Tabela 4 – Estatística dos critérios Akaike-AIC, Bayesiano-BIC, Hannan-Quinn para escolha do modelo mais adequado

Modelos	Crítérios	Spot	Futuro
GARCH(1,1)	Akaike (AIC)	-5,1903	-5,1903
	Bayesiano(BIC)	-5,1809*	-5,1809
	Hannan-Quinn	-5,1869*	-5,1869
GARCH(1,2)	Akaike (AIC)	-5,1908	-5,2178*
	Bayesiano(BIC)	-5,1790	-5,2060*
	Hannan-Quinn	-5,1865	-5,2135*
GARCH(2,1)	Akaike (AIC)	-5,1894	-5,2174
	Bayesiano(BIC)	-5,1776	-5,2057
	Hannan-Quinn	-5,1851	-5,2132
GARCH(2,2)	Akaike (AIC)	-5,1900	-5,2170
	Bayesiano(BIC)	-5,1759	-5,2029
	Hannan-Quinn	-5,1848	-5,2118
GARCH(3,2)	Akaike (AIC)	-5,1896	-5,2165
	Bayesiano(BIC)	-5,1732	-5,2000
	Hannan-Quinn	-5,1836	-5,2105
GARCH(3,3)	Akaike (AIC)	-5,1913*	-5,2162
	Bayesiano(BIC)	-5,1725	-5,1974
	Hannan-Quinn	-5,1845	-5,2094

Nota: * menor valor

Fonte: resultados da pesquisa.

Os resultados dos modelos estimados GARCH, EGARCH e TGARCH para os retornos dos preços *spot* podem ser observados na Tabela 5 abaixo, ressalta-se que todos os modelos foram estimados pela distribuição *t-Student*, visto que conforme exposto nas estatísticas descritivas, as séries possuem distribuição leptocúrtica.

Tabela 5 – Resultados das estimativas dos modelos dos retornos dos preços spot

Modelos	ω	α	β_1	γ
GARCH (1,1)	$6,00 \times 10^{-6}$	0,0388*	0,9466*	-
TGARCH (1,1)	$2,98 \times 10^{-4}$ *	0,0532*	0,9444*	-0,0932
EGARCH (1,1)	-0,1357*	0,0102	0,9830*	0,1065*

Nota: * significativo a 5%

Fonte: resultados da pesquisa.

Conforme os resultados, pode se verificar que as estimativas dos parâmetros do modelo GARCH, estimados pelos erros padrão robustos¹, α e β foram significativos ao nível de 5% de significância, já o (intercepto) não foi significativo.

A soma dos parâmetros α e β do modelo GARCH mensuram a duração dos choques na volatilidade, onde valores próximos ou iguais a um demonstram que um impacto sobre a volatilidade se dissipará lentamente. Dessa forma, como a soma desses parâmetros foi de 0,98, isso revela uma alta persistência de choques sobre a volatilidade dos retornos dos preços spot dessa commodity.

Dessa maneira, um choque positivo ou negativo sobre o retorno dos preços spot do café arábica demandará um tempo razoavelmente grande para se dissipar. O modelo GARCH trata os retornos de maneira simétrica. Sendo assim, ajustou-se um modelo EGARCH e TGARCH para verificar a presença de assimetrias na série de retornos dos preços spot do café arábica.

Como visto na Tabela 5, o modelo EGARCH (1,1) não apresentou α significativo, já o β e o γ (coeficiente de assimetria) foram significativos a 5% de significância, o coeficiente de assimetria apresentou sinal positivo (0,10), mostrando que choques positivos e negativos têm impacto distinto sobre a volatilidade, isto é, choques positivos influenciam mais a volatilidade do café, contudo, dado o sinal positivo, não há evidência do efeito alavancagem, o que diverge do encontrado por muitos trabalhos, como o de Moraes e Silva (2011), que apresentou assimetria negativa para o modelo EGARCH.

No modelo TGARCH (1,1), podemos verificar a inexistência do efeito de assimetria na volatilidade dos retornos dos preços spot do café arábica, uma vez

¹ Para todos os parâmetros estimados, foram considerados os valores pelos erros-padrão robustos. Optou-se por esses valores, devido à mitigação de possíveis efeitos da autocorrelação.

que todos os coeficientes foram estatisticamente significantes (5% nível de significância), exceto o parâmetro que capta o efeito de choques assimétricos.

Salienta-se que dado o coeficiente de assimetria do modelo TGARCH para o mercado spot não ter sido significativo, o modelo EGARCH se mostra preferível para representar a volatilidade dos retornos dos preços spot, uma vez que apresenta o efeito assimétrico.

Em virtude da grande volatilidade na formação dos preços do café, o mercado futuro surgiu para minimizar essas oscilações de preços provocadas muitas vezes pelo excesso ou escassez de oferta desse produto, assim, os contratos futuros atuam na minimização dessas oscilações e auxiliam na administração dos riscos.

Assim sendo, os resultados dos modelos estimados para a volatilidade dos retornos dos preços futuros do café são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados das estimativas dos modelos dos retornos dos preços futuros

Modelos	ω	α	β_1	β_2	γ
GARCH (1,2)	$2,5 \times 10^{-5}$ *	0,0592*	0,4530*	0,4309*	-
TGARCH (1,2)	$1,02 \times 10^{-3}$ *	0,0739*	0,4818*	0,4165*	-0,3978*
EGARCH (1,2)	-0,4420***	0,0572*	0,4679*	0,4756*	0,1570*

Notas: * significativo a 5%; *** significativo a 10%

Fonte: resultados da pesquisa.

Com base nos resultados dos modelos estimados para os retornos futuros, pode-se observar que no modelo GARCH todos os parâmetros foram estatisticamente significativos (5% de significância). A soma dos parâmetros α , β_1 e β_2 do modelo GARCH foi de 0,94 (0,06 + 0,45 + 0,43), o que indica uma alta persistência dos choques sobre a volatilidade dos retornos dos preços futuros dessa commodity.

Na Tabela 6, também se verifica os resultados dos modelos estimados EGARCH e TGARCH, ambos buscam captar a presença de assimetrias na série de retornos dos preços futuros do café. No modelo EGARCH (1,2), todos os coeficientes estimados foram significativos a 5% de significância, exceto o ω , que foi significativo a 10% de significância. Entretanto, assim como no modelo EGARCH (1,1) dos retornos dos preços spot, não foi possível verificar o efeito alavancagem, uma vez que o sinal se mostrou positivo.

No modelo estimado TGARCH (1,2) para os retornos dos preços futuros, todos os parâmetros foram estatisticamente significativos a 5% de significância, exceto o γ , que foi significativo a 10%, sendo que este apresentou o sinal esperado, (-0,397). O coeficiente mostra que este mercado apresenta assimetria de choques, sendo que os negativos afetam com uma intensidade muito mais elevada os retornos do que os positivos, cerca de 39,7%. A soma dos parâmetros α , β_1 e β_2 do modelo foi de 0,97 (0,07 + 0,48 + 0,42), o que indica uma alta persistência dos choques sobre a volatilidade dos retornos dos preços do café, ou seja, eles demoram um longo tempo para se dissiparem.

Assim sendo, com o intuito de verificar qual dos modelos estimados que mediram o efeito assimétrico explica melhor o fenômeno estudado, são utilizados os critérios de informação para sua escolha. A Tabela 7 apresenta a comparação entre os modelos do mercado futuro.

Tabela 7 – Estatística dos critérios Akaike-AIC, Bayesiano-BIC, Hannan-Quin

Modelos	Akaike (AIC)	Bayesiano (BIC)	Hannan-Quin
EGARCH (1,2)	-5,2229	-5,2065	-5,2169
TGARCH (1,2)	-5,2232*	-5,2068*	-5,2173*

Notas: * menor valor

Fonte: resultados da pesquisa.

Conforme os valores apresentados na Tabela 7 acima, se verifica que o modelo TGARCH foi o que demonstrou o melhor ajuste (em todos os critérios de informação) à série de retornos dos preços futuros. Nesse sentido, infere-se que as informações nesse mercado são de fato assimétricas e que notícias negativas (ruins) contribuem para a alta volatilidade dos preços desse produto no mercado futuro.

5. Considerações finais

Este estudo aplicou os modelos de heterocedasticidade condicional para modelar a série dos retornos dos preços spot e futuros do café arábica. As análises dos modelos GARCH mostraram que os retornos diários dos preços spot e futuros do café possuem alta volatilidade. Esses resultados demonstram o quão volátil é esse mercado, evidenciando a grande dificuldade enfrentada pelo setor para

planejamento, uma vez que choques sobre os retornos levam um grande período para se dissiparem nos modelos estimados.

Os resultados sobre a assimetria de choques medida pelo modelo EGARCH tanto para o retorno spot quanto futuro apresentaram assimetria, ou seja, a volatilidade responde de maneira diferente a choques positivos e negativos, entretanto, como o sinal foi positivo, não foi possível captar o efeito alavancagem que Nelson (1995) propôs, de que os choques negativos afetam a volatilidade mais do que choques positivos.

A série de retorno de preço spot do café apresentou um coeficiente TGARCH não significativo, indicando a não existência de assimetria neste mercado, já o coeficiente da série de retorno dos preços futuro foi significativo e apresentou o sinal esperado, evidenciando que as informações nesse mercado são assimétricas e que notícias ruins afetam mais a volatilidade do que notícias boas.

Desse modo, os resultados desses modelos evidenciam a alta volatilidade nos preços dessa *commodity* e assimetria nos retornos do preço futuro, de maneira que existe um elevado grau de risco associado a essa *commodity*, especialmente, em virtude de os agentes econômicos tomarem decisões financeiras em ambientes de incerteza.

Portanto, a volatilidade nos retornos dos preços mostra-se como uma preocupação constante para os agentes envolvidos em todo mercado agropecuário brasileiro, de maneira que é necessária a utilização de um maior volume de ferramentas de proteção, tais como as estratégias de hedge desenvolvidas junto às bolsas de mercadorias e futuros e políticas de preço mínimo.

Referências

BM&F. Bolsa de Mercadorias & Futuros. 2018. Disponível em: <<http://www.bmf.com.br>>. Acesso em: 02 dez. 2018.

BOLLERSLEV, T. Generalized Autorregressive Conditional Heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, v. 31, n. 3, p. 307-327, 1986.

BRITO, M. R.; LEITE, C. A. M. Análise fracional do mercado internacional do café. 2016.

BUENO, R. *Econometria de Séries Temporais*. 2ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br>. Acesso em: 02 dez. 2018.

ENGLE, R. F. Autorregressive Conditional Heteroskedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, v. 50, n. 4, p. 987-1007, 1982.

LAMOUNIER, W. M. *Comportamento dos preços no mercado spot de café no Brasil: análise nos domínios do tempo e da frequência*. São Paulo: Bolsa de Mercadorias & Futuros, 2003.

MARTINS, C. M. F.; CASTRO JUNIOR, L. G. de. Volatilidade No Mercado Futuro Do Café Brasileiro. In: Anais do 30º Encontro da EnANPAD, Salvador, 2006.

MATTOS, L. B.; CASSUCE, F. C. C.; MÜLLER, C. A. S. Análise da volatilidade do retorno mensal de boi gordo: 1967-2005. *Revista Unimontes Científica*, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2006.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Café no Brasil. 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>. Acesso em 05 dez. 2018.

MELO, E. S.; MATTOS, L. B. Análise da volatilidade da base do café arábica para a mesorregião do sul de Minas Gerais. *Revista Economia e Gestão*, v. 12, n. 29, p. 124-140, 2012.

MOL, A. L. R. Value- at-Risk: Uma abordagem heteroscedástica do risco de base para o Café no Cerrado Mineiro. In: Anais do XLIII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, Ribeirão Preto, 2005.

MORAES, L. de P.; SILVA, C. A. G. A volatilidade do preço do café: um estudo dos modelos heteroscedásticos. In: Anais do XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual, Belo Horizonte, 2011.

MORETTIN, P. A.; TOLÓI, C. M. C. *Análise de séries temporais*. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

NELSON, D. B. Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach. *Econometrica*, v. 59, n. 2, p. 347-370, 1991.

NUNES, R.; SAES, M. S. M.; BRANDO, J. A. A volatilidade das cotações de café nas bolsas internacionais. *In: Anais do Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural*, Cuiabá, 2004.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ – OIC. Relatório sobre o mercado de café – setembro/2018. Disponível em: <http://www.ico.org/documents/cy2017-18/cmr-0918-p.pdf>. Acesso em 04 dez. 2018.

PEREIRA, V. F.; LIMA, J. E.; BRAGA, M. J.; MENDONÇA, T. G. Volatilidade condicional dos retornos de *commodities* agropecuárias brasileiras. *Revista de Economia*, v. 36, n. 3, p. 73–94, 2010.

RIBEIRO, K. C. S.; SOUZA, A. F. de; ROGERS, P. Preços de Café no Brasil: variáveis preditivas no mercado à vista e futuro. *Revista de Gestão USP*, v. 13, n. 1, p. 11–30, 2006.

RODRIGUES, F. L. Alavancagens e assimetrias da volatilidade dos preços do café no mercado brasileiro: uma análise empírica. *Revista Conhecimento Contábil*, v. 10, n. 1, p. 15–26, 2020.

SAITH, W.; KAMITANI, E. L. T. Volatilidade e assimetria de choques no mercado agropecuário brasileiro um uso dos modelos da família GARCH. *Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v. 6, n. 1, p. 1–7, 2012.

TEIXEIRA, G. S.; MAIA, S. F.; FIGUEIREDO, N. M.; PEREIRA, E. S.; PINTO, P. A. L. A. Dinâmica da volatilidade do retorno das principais commodities brasileiras: uma abordagem dos modelos ARCH. *In: Anais do XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural – SOBER*, Rio Branco, 2008.

ZAKOIAN, J. M. Threshold Heteroskedasticity Models. *Journal of Economic Dynamics and Control*, v. 18, n. 5, p. 931-955, 1994.