

---

# EFETIVIDADE DO *CROSS HEDGING* NO MERCADO FUTURO DO CAFÉ ARÁBICA: MITIGAÇÃO DO RISCO EM UMA AGROINDÚSTRIA CAFEIEIRA

*Effectiveness of cross hedging in the arabica coffee future market for mitigating the risk of a coffee agroindustry*

## Larissa Thawani Franco

Contadora. Bacharel em Ciências Contábeis pela Faculdade de Administração, Ciências Contábeis, Engenharia de Produção e Serviço Social da Universidade Federal de Uberlândia (UFU/FACES – Campus Pontal). Rua Vinte, 1600, UFU/Campus Pontal, Bairro Tupã, Ituiutaba/MG – Brasil, CEP 38304-402. larissatfranco@gmail.com

## Josilene da Silva Barbosa

Contadora. Doutora em Ciências Contábeis pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Contábeis da Universidade Federal de Uberlândia (UFU/FACIC). Pesquisadora e Professora de Ciências Contábeis na UFU/FACES – Campus Pontal. Rua Vinte, 1600, UFU/Campus Pontal, Bairro Tupã, Ituiutaba/MG – Brasil, CEP 38304-402. josilene@ufu.br

## Odilon José de Oliveira Neto

Administrador. Doutor em Administração de Empresas pela Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas (FGV/EAESP). Pesquisador e Professor de Finanças na UFU/FACES – Campus Pontal. Rua Vinte, 1600, UFU/Campus Pontal, Bairro Tupã, Ituiutaba/MG – Brasil, CEP 38304-402. odilonoliveira@ufu.br

---

**Resumo:** Este estudo teve como objetivo analisar a efetividade das operações de *cross hedge* no mercado futuro do café arábica da Brasil, Bolsa, Balcão (B3), para a mitigação do risco de preços de compra e venda de café em uma agroindústria cafeeira. As razões ótimas de *cross hedge* foram estimadas a partir dos modelos de variância mínima, heterocedástico autorregressivo generalizado bivariado diagonal *BEKK* e *full hedge*. A série temporal compreende o período entre março de 2018 e dezembro de 2021. A efetividade do *cross hedging* foi estimada a partir de testes dentro e fora da amostra. Os resultados dos testes evidenciaram que as operações de *cross hedge* de compra e de venda no mercado futuro de café arábica mitigam entre 73% e 86% (resultado do teste dentro da amostra) e entre 71% e 89% (resultado do teste fora da amostra) o risco de preços no mercado à vista. Assim sendo, conclui-se que o *cross hedging* no mercado futuro do café arábica da B3 é viável para a agroindústria cafeeira pesquisada, uma vez que essa operação é efetiva na mitigação do risco de variação de preços à vista de compra e venda.

**Palavras-chave:** Agronegócio; Agroindústria; Comercialização; Cross hedge; Preço.

**Abstract:** This study aimed to analyze the effectiveness of *cross hedging* in the Arabica coffee future market in B3 – Brazil Stock Exchange and Over-the-Counter Market to mitigate the coffee purchase and selling price risk in a coffee agroindustry. The optimal *cross hedge* ratios were estimated by using the minimum variance model, the *BEKK* diagonal bivariate generalized autoregressive heteroskedasticity model, and the *full hedge model*. The time series covers the period from March 2018 through December 2021. The effectiveness of *cross hedging* was estimated building on tests performed within and out of sample. Test results showed that *cross hedging* for purchasing and selling in the Arabica coffee future market mitigate the respective price risk in 73% to 86% (within sample) and 71% to 89% (out of sample). In conclusion, cross hedging in the B3 future market of Arabica coffee is feasible for the coffee agroindustry under scrutiny, as this operation is effective for mitigating the risk of lump-sum purchase and selling price variations.

**Keywords:** Agribusiness; Agroindustry; Marketing; Cross hedge; Price.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

## 1 INTRODUÇÃO

O mercado de café é exposto a riscos mercadológicos (estoque, oferta, demanda e preço), riscos não sistêmicos (condições climáticas e pragas) e riscos sistêmicos (taxa de juros e câmbio). Além disso, historicamente, o café é um produto agrícola que apresenta alta volatilidade, que é resultante, dentre outros fatores, dos riscos associados ao produto/mercado, o que afeta a tomada de decisão conforme os respectivos interesses dos agentes envolvidos na comercialização (Lamounier, 2006; Ribeiro et al., 2006; Müller, 2007; Rego; Paula, 2012).

O café é um importante produto para o agronegócio brasileiro, setor que em 2020 agregou 26,6% ao Produto Interno Bruto (PIB) do país, com valor monetário equivalente a R\$ 2 trilhões (CNA, 2021). Neste contexto, o Brasil se destaca como líder mundial em produção e exportação de café e ocupa a segunda posição no consumo dessa commodity (ABIC, 2021).

Dada essa relevância e a volatilidade dos preços, vários agentes utilizam instrumentos financeiros para mitigar riscos, destacando-se os contratos futuros. Esses derivativos permitem prefixação de preços com liquidação futura, viabilizando operações de *hedge*. O *hedge* é uma estratégia de proteção contra oscilações de preços, mediante contratos futuros de ativos idênticos aos do mercado físico (Zanotti; Gabbi; Geranio, 2010). Um agricultor (produtor de café) que deseja, por exemplo, minimizar o risco de oscilações de preços do seu produto por meio do *hedge* deve negociar contratos de café no mercado futuro de acordo com a cobertura desejada e com vencimento apropriado.

No mesmo sentido, ressalta-se a existência do *cross hedge*, que consiste na negociação de contratos futuros com especificações de produto semelhantes, mas não idênticas aos ativos a serem protegidos (Oliveira Neto; Garcia, 2013). Assim, uma agroindústria de torrefação pode proteger sua operação com contratos de café em grão, mesmo não havendo derivativo específico para café torrado e moído.

No Brasil, a literatura que trata da temática *hedge* de preços do café se concentrou em analisar a efetividade do *hedge* para os produtores. Esse é o caso das pesquisas de Fileni, Marques e Machado (1999), Pinto e Silva (2001), Müller, Moura e Lima (2008), e Souza, et al. (2017). Assim sendo, foi verificada uma carência de estudos sobre efetividade dessas operações na agroindústria, especialmente em processadoras e distribuidoras-vendedoras de café.

Logo, ao considerar que, na prática, a agroindústria cafeeira lida com a compra da saca do café em grãos ou cru e com a venda do café torrado e/ou moído, hipoteticamente, o *cross hedge* seria uma operação efetiva na proteção contra as variações dos preços do café. Com base no exposto, o presente estudo objetivou analisar a efetividade das operações de *cross hedge* no mercado futuro do café arábica da Brasil, Bolsa, Balcão (B3), na mitigação do risco de preços de compra e venda de café em uma agroindústria cafeeira.

Neste âmbito, vale destacar que ao propor um estudo que tem por base o gerenciamento do risco de preços de uma agroindústria cafeeira atuante em uma das principais regiões produtoras e comercializadoras de café do Brasil, mais especificamente, localizada na mesorregião do Triângulo Mineiro, essa pesquisa corrobora uma análise robusta sobre a efetividade das operações de *cross hedge* de compra e de venda de contratos no mercado futuro de café arábica da Brasil, Bolsa, Balcão (B3), principal derivativo de café negociado no Brasil e um dos principais contratos futuros dessa commodity negociados no mundo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

O café é considerado um dos produtos agrícolas com preços mais voláteis do mundo e apresenta diversos riscos sistêmicos e não sistêmicos associados ao seu mercado. Dentre os riscos não sistêmicos, ressaltam-se os fatores climáticos inerentes ao cultivo. Já em relação aos riscos sistêmicos, encontram-se os fatores de variação bienal da produção, além de fatores tipicamente mercadológicos, como variação de oferta e demanda, o que afeta diretamente o preço de comer-

cialização (Rego, 2012). Diante do desafio da gestão de preços, os mercados de derivativos se destacam por possibilitar aos agentes o posicionamento em *hedge* (proteção), especulação e arbitragem (Martins, 2005).

Dentre os mercados derivativos agropecuários, o mercado futuro se destaca por permitir operações com a finalidade de mitigar as variações temporais dos preços do café e de outras *commodities* agrícolas. Sabe-se que, dentre as possibilidades de posicionamento em relação aos derivativos, os contratos futuros encontram-se entre os mais utilizados para o *hedging*, apresentando-se como ferramentas que visam à redução e/ou proteção no que tange às incertezas mercadológicas, tendo em vista a negociação baseada em estimativas futuras dos preços dos ativos (Galvão, 2000).

Ademais, é no mercado futuro que o *hedge* é predominantemente operado por meio dos derivativos (contratos futuros), especificamente, por meio de títulos de natureza idêntica ou semelhante à dos ativos negociados no mercado à vista. O acervo de estudos em *hedge* contempla, principalmente, análises em operações de *hedge* tradicionais, cujo ativos protegidos são geralmente idênticos aos especificados nos contratos futuros e em estratégias com cobertura completa ou ótima (Galvão, 2000). No Brasil, diversas pesquisas evidenciaram a efetividade das operações de *hedge* na comercialização de diferentes *commodities* agropecuárias. Especificamente, no caso do café, as pesquisas se concentram em analisar a efetividade do *hedge* para o elo produtor (agricultores), como, por exemplo, os estudos de Filene, Marques e Machado (1999), Pinto e Silva (2001), Barros e Aguiar (2005), Fontes, Castro Júnior e Azevedo (2005), Müller (2007), Müller, Moura e Lima (2008), Harzer, *et al.* (2014), Kairalla (2016) e Souza, *et al.* (2017).

O estudo de Fileni, Marques e Machado (1999) teve como objetivo avaliar o uso de *hedge* como instrumento de cobertura de risco para o agronegócio do café brasileiro. Os autores utilizaram séries temporais diárias de preços do cotados em dólar mercado futuro do café arábica na Bolsa de Mercadorias & Futuros (BM&F), e mercado à vista representado pelas principais regiões produtoras de café de Minas Gerais (Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba, Zona da Mata e Sul de Minas Gerais), no período 1995-1998. Os resultados apontaram que os contratos futuros de café negociados na BM&F se mostraram eficazes para o gerenciamento do risco de preços, atingindo altos índices de efetividade.

Pinto e Silva (2001) buscaram verificar a efetividade do *hedge* aplicado ao mercado futuro de café na Bolsa de Mercadorias & Futuros (BM&F), *London International Financial Futures and Options Exchange* (LIFFE) e *New York Board of Trade* (NYBOT). Os resultados demonstraram significativa efetividade de *hedge* na mitigação dos riscos de variação dos preços, com destaque para maior efetividade de *hedge* do café a partir da utilização dos contratos futuros de café da LIFFE.

Barros e Aguiar (2005) também contribuíram para a pesquisa sobre o gerenciamento de risco ao analisarem o comportamento da base do café arábica com vistas ao estabelecimento de estratégias de *hedge*. No estudo, foram investigadas as principais regiões produtoras de café dos estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná, tendo sido utilizadas séries diárias de preços à vista e futuros cotados em dólar no período compreendido entre junho de 1998 e dezembro de 2003. O preço da base foi estimado pela diferença entre o preço à vista e preço de um contrato futuro do café arábica, tendo sido o risco estimado a partir do desvio-padrão da base no período estudado.

Em suma, Barros e Aguiar (2005) concluíram haver oportunidades de ganho para *hedgers*. Além disso, os pesquisadores verificaram que os contratos futuros com vencimento em março e maio apresentaram os maiores riscos de base devido às maiores incertezas vivenciadas nos meses que antecedem a nova safra. Apurou-se também que as maiores rentabilidades com operações de *hedge* de venda ocorrem com aquelas iniciadas no segundo semestre do ano. Fontes, Castro Júnior e Azevedo (2005) também focaram na verificação da base e do risco de base da atividade cafeeira de importantes municípios produtores de café dos estados de Minas Gerais e São Paulo e corroboraram boa parte das conclusões apontadas por Barros e Aguiar (2005).

Semelhante à pesquisa de Fileni, Marques e Machado (1999), os estudos de Müller (2007) e Müller, Moura e Lima (2008) objetivaram comparar a efetividade de diferentes estratégias de *hedge* aplicadas ao mercado futuro de café arábica no Brasil. Os resultados demonstraram que a estratégia com melhor desempenho em proteção contra o risco de preços foi a dinâmica (pelo uso de modelos heterocedásticos) de cobertura ótima (razão ótima de *hedge*), haja vista a redução de, aproximadamente, 20% do risco de preços no mercado à vista. Apesar do melhor desempenho, a estratégia dinâmica apresentou níveis de efetividade semelhantes aos obtidos via estratégia estática (modelo de variância mínima baseado no método dos mínimos quadrados ordinários).

Na seara dos estudos que avaliaram o desempenho do *hedge* a partir de modelos dinâmicos de estimação, destaca-se a investigação de Harzer *et al.* (2014), que estimaram os coeficientes da razão ótima de *hedge* e os de sua efetividade e demonstraram as alterações desses valores ao longo do tempo. Os coeficientes foram calculados para cada mês de vencimento dos contratos futuros de café arábica, bem como por períodos específicos de duração das operações de *hedge*. Nesse caso, foram utilizadas séries diárias de preços transformadas em médias mensais do período compreendido entre janeiro de 2005 e maio de 2011.

Harzer *et al.* (2014) também constataram que a razão ótima de *hedge* máxima estimada foi de 1,27 para os contratos vencidos em março de 2007, com efetividade de 82,06%, e mínima de 0,43 para os contratos vencidos em julho de 2010, com efetividade de 55,04%. Já a efetividade máxima calculada para todos os períodos foi apurada para contratos vencidos em julho de 2011, com 97,95%, e a mínima de 42,30% para os vencidos em dezembro de 2006. Quando esses mesmos coeficientes foram calculados por prazos fixos de duração do *hedge*, a eficiência máxima constatada foi para aqueles com vencimento em sessenta dias, com efetividade máxima de 99,28%, e a mínima de 95,62% para o período de 240 dias.

Diferentemente da maioria dos estudos que abordaram a efetividade do *hedge* do café no Brasil, que se focaram, principalmente, no gerenciamento do risco de preços ao nível do elo produtor, Kairalla (2016) se propôs a analisar qual seria a principal estratégia de *hedge* para o exportador de café, considerando as principais regiões brasileiras produtoras da *commodity*. Para isso, o autor utilizou o modelo de *hedge* de variância mínima para estimação da razão ótima de *hedge*. Os resultados mostraram que a estratégia de *hedge* simultâneo dos preços e câmbio foi o mais eficiente na redução do risco.

Dentre os estudos mais recentes sobre operações de *hedge* para proteção do risco de preços do café, destaca-se a investigação de Souza *et al.* (2017), que avaliaram a eficiência das estratégias sem *hedge*, *hedge* simples (*naïve*), *hedge* estático (modelos baseados no método dos mínimos quadrados ordinários) e *hedge* dinâmico (pelo uso de modelos heterocedásticos) na gestão de risco dos preços do café das principais regiões brasileiras produtoras de café. Os achados da pesquisa mostraram que a eficiência do *hedge* estático e do *hedge* dinâmico foi superior à das demais estratégias, mais precisamente, sem *hedge* e de cobertura completa.

Sobre os trabalhos que avaliaram a efetividade do *hedge* na comercialização do café (Filene; Marques; Machado, 1999; Pinto; Silva, 2001; Barros; Aguiar, 2005; Fontes; Castro Júnior; Azevedo, 2005; Müller, 2007; Müller; Moura; Lima, 2008; Harzer, *et al.*, 2014; Kairallak, 2016; Souza, *et al.*, 2017), há que se destacar a similaridade entre os resultados, pois praticamente todas as investigações evidenciaram significativa efetividade das operações de *hedge*.

Além dos estudos que utilizam o uso de contratos futuros como instrumento de *hedging* e sua efetividade, destacam-se também estudos que se baseiam no *cross hedging*, que é ferramenta derivada do *hedge* tradicional. O *cross hedging*, de acordo com Anderson e Danthine (1981), caracteriza-se por operações em que, devido, principalmente, à escassez de ativos derivativos idênticos aos dos produtos comercializados no mercado físico (à vista), são utilizados contratos futuros de produtos semelhantes a fim de que, conforme o nível de correlação, atinja-se um nível de efetividade próximo ao das operações de *hedge*. Diversos estudos apontam que esse instrumen-

to é capaz de produzir níveis de efetividade tão bons quanto os níveis observados nas operações de *hedge* convencionais.

O acervo de estudos do nível de efetividade em operações de *cross hedge* em mercados do Brasil e América Latina é relativamente escasso. Dentre esses estudos, destaca-se o de Maia e Aguiar (2010), os quais utilizaram modelos baseados no método dos mínimos quadrados ordinários para prospecção da efetividade do *cross hedge* ou capacidade de minimização do risco de variações de preços a partir de dados extraídos de contratos futuros de soja da BM&F. O intuito da pesquisa foi comparar os níveis de efetividade do *hedging* e do *cross hedging* entre diferentes praças produtoras de soja do Brasil. Nesse estudo, concluiu-se que as operações de *cross hedge*, apesar de apresentarem maior nível de retorno, produziram maior incerteza e risco quando comparadas às operações de *hedge*.

Em pesquisa anterior, Martins e Aguiar (2004) haviam analisado o nível de efetividade do *cross hedging* em contratos futuros de soja da *Chicago Board of Trade* (CBOT) no gerenciamento do risco de preços da soja de importantes praças produtoras do Brasil. O resultado desse estudo apontou que a capacidade de minimização do risco ficou abaixo dos 60%. Já o estudo de Santiago e Mattos (2014) buscou avaliar se as operações de *cross hedge* em contratos futuros de etanol hidratado brasileiro e etanol anidro americano seriam capazes de proteger, com nível de efetividade relevante, as variações e incertezas nos preços do mercado de açúcar cristal brasileiro. A estratégia de *cross hedging* foi utilizada pelos pesquisadores devido à ausência de derivativos idênticos que pudessem ser utilizados para consecução do *hedging*. Como resultado, concluiu-se que as operações não apresentaram efetividade adequada que permita minimamente o uso do *cross hedging* como estratégia de gerenciamento de risco de preços.

No que tange aos estudos brasileiros que tratam do *cross hedging*, vale ressaltar que a pesquisa de Oliveira Neto e Garcia (2013) foi uma das pioneiras na utilização de modelos estatísticos que consideram a dinamicidade dos mercados para o cálculo da razão ótima de *cross hedge*. A partir do modelo heterocedástico *BEKK* de Engle e Kroner (1995), os autores avaliaram o nível de efetividade das operações de *cross hedge* envolvendo contratos futuros do boi gordo brasileiro com a finalidade de mitigação do risco de preços dos bovinos de corte argentinos, especificamente, em se tratando dos novilhos precoces e adultos. O resultado do estudo apontou que as operações de *cross hedge* foram capazes de minimizar o risco dos preços à vista em 79,12% e 97,52% dos novilhos precoces e adultos argentinos, respectivamente.

No Brasil, quanto ao âmbito legal, a prática de *hedge* é regulamentada pelo CMN (Conselho Monetário Nacional) e BACEN (Banco Central) por meio da Resolução nº 4.948, de 30 de setembro de 2021, que revogou a Resolução nº 3.312, de 31 de agosto de 2005 e trouxe maior amplitude e flexibilidade às operações de *hedge*, especialmente, em operações cambiais e internacionais. Já em relação ao âmbito contábil, o *hedge* deve ser estabelecido conforme prevê o CPC (Comitê de Pronunciamentos Contábeis) 48, que se baseia na IFRS (*International Financial Reporting Standards*, ou, em português, Normas Internacionais de Relatórios Financeiros). Em ambos os cenários, não há distinções explícitas entre a regulação, à luz da Resolução nº 4.948, ou no âmbito contábil, à luz do CPC 48/IFRS 9, que distingam as práticas entre *hedging* e *cross hedging*, ou seja, ambas são tecnicamente consideradas *hedging*.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Tendo em vista o objetivo do estudo de analisar a efetividade das operações de *cross hedge* no mercado futuro do café arábica da Brasil, Bolsa, Balcão (B3), na mitigação do risco de preços de compra e venda de café em uma agroindústria cafeeira, optou-se pela realização de uma pesquisa quantitativa do tipo descritiva, devido, principalmente, à necessidade da utilização de modelos estatísticos para a mensuração da razão e da efetividade do *cross hedging*, bem como da descrição dos resultados (Cardoso, 2003). A operação de *cross hedge* no mercado futuro do café arábica da B3 direcionada para gestão do risco de preços na agroindústria cafeeira em estudo foi estimada

para a proteção do risco de preços da compra da saca do café arábica (com características não idênticas aos negociados no mercado futuro da B3) e para a venda do café industrializado (torrado e moído). A caracterização como *cross hedging* se deve ao fato de os produtos cobertos (protegidos) pela operação apresentarem características díspares ao especificado no contrato futuro de café arábica negociado no mercado futuro da B3.

No que se refere aos dados da pesquisa, as séries de preços à vista e futuros utilizados compreendem o período de março de 2018 a dezembro de 2021. As séries de preços à vista se referem aos preços em reais à vista de compra e de venda do café praticados por uma agroindústria cafeeira localizada na mesorregião do Triângulo Mineiro, Estado de Minas Gerais. Essas séries foram obtidas a partir das médias aritméticas dos preços do café praticados pela agroindústria. Assim sendo, obtiveram-se uma série de preços médios mensais (de compra – café em grãos) e uma série de preços médios semanais (de venda – café torrado e moído) praticados pela agroindústria.

Quanto aos preços futuros do café arábica na B3, informa-se que esses foram obtidos junto ao Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) da Universidade do Estado de São Paulo (USP). A partir das séries diárias de preços futuros já convertidos de dólares para valores em reais – procedimento adotado com base na pesquisa de Fontes, Castro Júnior e Azevedo (2005). Assim sendo, foram calculadas as séries de preços médios mensais e semanais com o intuito de se calcularem as estimativas de *cross hedging* de compra e de venda para a agroindústria. No caso dos preços futuros, têm como base os preços de negociação referentes aos contratos do café arábica tipo 4/5 (bebida dura ou melhor) cotados por saca de 60 quilogramas e liquidados por entrega física no vencimento ou financeira por reversão de posição do contrato futuro negociado na B3 sob o código ICF.

Para o cálculo da razão ótima de *cross hedge*, foi aplicado, primeiramente, o modelo de variância mínima de Ederington (1979), baseado no método MQO (Mínimos Quadrados Ordinários). A razão ótima no modelo de variância mínima é estimada a partir da equação 1 a seguir.

$$\Delta_s = \alpha + \beta \Delta_f + u_t \quad (1)$$

Em que:  $\alpha$  é uma constante da regressão;  $\Delta_s$  e  $\Delta_f$  representam as variações dos preços à vista e futuros;  $\beta$  é a razão de *hedge* ou *cross hedge* de variância mínima ou ótima; e  $u_t$  é o termo do erro da estimação pelos mínimos quadrados ordinários.

Esse modelo, apesar de ter sido amplamente utilizado para o cálculo da razão ótima de *hedge*, assim como para a análise da efetividade do instrumento, baseia-se em estimativa estática que não considera a dinâmica das variações de preços, ou volatilidade, podendo, conseqüentemente, apresentar problemas analíticos e decisórios. Acerca disso, Bitencourt, Silva e Sáfiadi (2006) abordam em seu estudo que os modelos baseados em MQO, ao considerarem um coeficiente constante para a razão ótima de *hedge*, assumem que os riscos entre os mercados à vista e futuros são atemporais, não aderindo às mudanças e condições dinâmicas naturais desses mercados.

Logo, ao considerar a limitação de uso dos modelos baseados no método MQO para estimação da razão ótima de *hedge*, optou-se pela utilização do modelo BEKK (GARCH) de Engle e Kroner (1995), que considera a dinamicidade das variações nos preços (heterocedasticidade). Segundo Brook, Davies e Kin (2004), as volatilidades condicionais que são observadas nas variações de preços dos mercados geram mudanças na variância e covariância ao longo do tempo e, por essa razão, deve-se considerar os ajustes de variância e covariância conforme mudanças condicionais da volatilidade para que o modelo seja devidamente ajustado e produza uma regra preditiva com maior efetividade em detrimento de modelos constantes (estáticos). Seguindo o exposto no estudo de Oliveira Neto e Garcia (2013), foi utilizada, para estimação da matriz de covariância mínima,

a parametrização da matriz com base no modelo GARCH multivariado de Engle e Kroner (1995), conforme a equação 2.

$$H_t = C' C + \sum_{i=1}^q A'_i \varepsilon_{t-1} \varepsilon'_{t-i} + \sum_{i=1}^p B_j H_{t-j} B_j \quad (2)$$

Em que:  $A_i$ ,  $B_j$  e  $C$  são matrizes ( $n \times n$ ), com  $n = 2$  (bivariado) e  $C$  é determinado como a matriz triangular superior e;  $p$  e  $q$  são as ordens do modelo e;  $n$  é o número de séries utilizadas. Conforme modelo exposto por Engle e Kroner (1995), para inclusão de todas as possibilidades de representações vetoriais positivas, estabelece-se a equação 3 (Boutouria; Abid, 2010 apud Oliveira Neto; Garcia, 2013).

$$\begin{cases} R_{s_t} = \mu_s + e_{s_t} \\ R_{f_t} = \mu_f + e_{f_t} \end{cases} \quad \& \quad e_t \left| \Psi_{t-1} = \begin{bmatrix} e_{s_t} \\ e_{f_t} \end{bmatrix} \right| \Psi_{t-1} \sim N(0, H_t) \quad (3)$$

Em que:  $e_{s_t}$  e  $e_{f_t}$  são os distúrbios encontrados;  $\Psi_{t-1}$  são os dados disponíveis no tempo;  $t - 1$  é a função de densidade normal bivariada; e  $H_t$  é uma matriz de covariância condicional definida positiva no tempo  $t$ , especificada conforme equação 4.

$$\begin{cases} H_t = \begin{bmatrix} h_{s_t}^2 & h_{s_f t} \\ h_{s_f t} & h_{f_t}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{ss} & 0 \\ \gamma_{sf} & \gamma_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_{ss} & 0 \\ \gamma_{sf} & \gamma_{ff} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha_{ss} & \alpha_{sf} \\ \alpha_{sf} & \alpha_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{s_{t-1}}^2 & e_{s_{t-1}} e_{f_{t-1}} \\ e_{s_{t-1}} e_{f_{t-1}} & e_{f_{t-1}}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_{ss} & \alpha_{sf} \\ \alpha_{sf} & \alpha_{ff} \end{bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} \beta_{ss} & \beta_{sf} \\ \beta_{sf} & \beta_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{s_{t-1}}^2 & h_{s_f t-1} \\ h_{s_f t-1} & h_{f_{t-1}}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_{ss} & \beta_{sf} \\ \beta_{sf} & \beta_{ff} \end{bmatrix} \end{cases} \quad (4)$$

Em que:  $h_{s_f t}$  é a covariância condicional dos preços à vista e futuros;  $h_{s_t}^2$  e  $h_{f_t}^2$  são as variâncias condicionais dos preços à vista e futuros do café arábica, sendo os parâmetros desconhecidos determinados por  $\theta = \{\mu_s, \mu_f, \gamma_{ss}, \gamma_{ff}, \gamma_{sf}, \alpha_{ss}, \alpha_{sf}, \alpha_{ff}, \beta_{ss}, \beta_{sf}, \beta_{ff}\}$  e podem ser estimados pela maximização da função log de verossimilhança em relação à  $\theta$  onde  $T$  é o número total de observações, conforme equação 5.

$$L(\theta) = -T \log(2\pi) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^T \log |H_t(\theta)| - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^T e_t(\theta)' H_t^{-1}(\theta) e_t(\theta) \quad (5)$$

Logo, o modelo BEKK (1,1), a ser aplicado, conforme os estudos de Oliveira Neto e Garcia (2013), é matematicamente apresentado na equação 6.

$$\begin{cases} h_{s,t} = C_{ss} + \alpha_{22}^2 \varepsilon_{s,t-1}^2 + \beta_{22}^2 h_s \\ h_{s_f,t} = C_{sf} + \alpha_{11} \alpha_{22} \varepsilon_{s,t-1}^2 + \beta_{11} \beta_{22} h_{s_f} \\ h_{f,t} = C_{ff} + \alpha_{11}^2 \varepsilon_{f,t-1}^2 + \beta_{11}^2 h_f \end{cases} \quad (6)$$

A derivação resulta na equação 7, que é a base para a estimação da razão ótima de *cross hedge*.

$$h_t = \text{cov}(\Delta S_t, \Delta f_t | \Omega_{t-1}) / (\Delta f_t | \Omega_{t-1}) \quad (7)$$

Em que:  $\Delta S_t$  e  $\Delta f_t$  são as variações absolutas dos preços à vista e futuros;  $\Omega_{t-1}$  é a matriz de covariância condicional; e  $h_t$  é a razão ótima de *cross hedge*. Além da aplicação dos modelos de variância mínima de Ederington (1979) e o modelo BEKK de Engle e Kroner (1995) para estimar a razão ótima de *cross hedge*, foi também utilizada a estratégia de cobertura completa (*full hedge*), que considera a negociação de contratos futuros em igual proporção ao volume de produtos a serem protegidos, ou seja, ajuíza a razão ótima igual a 1.

Após estimar as razões ótimas de *cross hedging* a partir dos modelos selecionados, foi avaliada, na sequência, a efetividade do uso dessas estimativas na mitigação do risco na compra da saca do café em grãos e venda do café industrializado. Assim sendo, a efetividade das operações de *cross hedge* foi estimada com base na equação utilizada por Oliveira Neto e Garcia (2013), que estabelece que a estimativa de efetividade do *cross hedging* deve ser calculada a partir da equação 8.

$$e_{ch} = 1 - \frac{\text{var}(H^*)}{\text{var}(U)} \quad (8)$$

Em que:  $e_{ch}$  é a efetividade do *cross hedging*;  $\text{var}(U) = \sigma_s^2$  é a variância da carteira não protegida;  $\text{var}(H^*) = \sigma_s^2 + h^{*2}\sigma_f^2 - 2h^{*2}\sigma_{sf}^2$  é a variância mínima da carteira protegida;  $\sigma_f^2$  é a variância dos preços futuros;  $\sigma_{sf}^2$  é a covariância entre os preços à vista e futuros; e  $ch^*$  é a razão ótima do *cross hedging*.

Dada a equação para mensuração da efetividade do *cross hedging*, estabelecem-se as seguintes hipóteses a serem testadas:

$H_0 = e_{ch} \leq 0,70$  o *cross hedging* não é efetivo, e

$H_1 = e_{ch} > 0,70$  o *cross hedging* é efetivo.

Assim sendo, caso rejeitada a hipótese  $H_0$  de não efetividade, não se rejeita a  $H_1$ , cujo valor estimado multiplicado por 100 representa o percentual de efetividade do *cross hedging* no mercado futuro na mitigação do risco de preços do mercado à vista.

## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

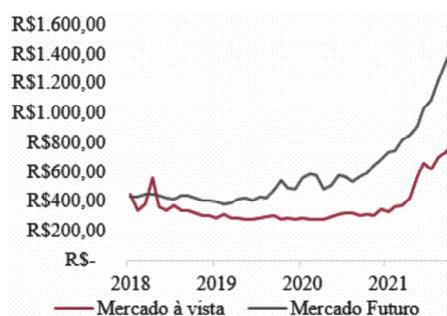
As séries de preços do café arábica nos mercados futuro e à vista são apresentadas na Figura 1 e compreendem o período de março de 2018 a dezembro de 2021. Sobre a série de preços à vista exposta na Figura 1, exprime-se o comportamento dos preços médios mensais em reais de compra do café praticados por uma agroindústria cafeeira localizada na mesorregião do Triângulo Mineiro, Estado de Minas Gerais. Já a série de preços futuros compreende os preços médios mensais cotados em reais praticados nas negociações-liquidações dos contratos futuros do café arábica na Bolsa, Balcão (B3) – convertidos monetariamente (dólar americano para real brasileiro) conforme especificado na seção anterior do presente artigo.

Com base na Figura 1, verificou-se uma certa estabilidade e proximidade entre os preços à vista e futuros no período 2018-2019. Todavia, a partir de 2020, identificou-se maior volatilidade nos preços futuros e distanciamento desses se comparados aos preços à vista. Supostamente, isso se deve à maior volatilidade causada pela alta contínua nos preços durante o período pandêmico da SARS-COVID-19, que também foi marcado por maior desvalorização cambial do real brasileiro frente ao dólar americano, sendo fatores que, hipoteticamente, afetam a precificação e contribuem para ampliação do volume das exportações do café brasileiro.

Ao final de 2020, observou-se um aumento mais expressivo dos preços nos mercados à vista e futuro do café arábica. Assim, é possível inferir que o fenômeno esteja relacionado à queda na oferta do produto que, em parte, se deve a ocorrências climáticas nesse período, haja vista o recor-

de de geadas e de estiagem – as maiores dos últimos 30 anos (CNA, 2021). A variação de preços, em ambos os mercados, foi superior a 130% no ano de 2021, sendo esse um fenômeno inercial hipoteticamente derivado do período pandêmico e de fatores climáticos supracitados. Observou-se também que os preços do café arábica no mercado futuro da B3 são predominantemente superiores aos preços de compra no mercado à vista praticados pela agroindústria cafeeira. Justifica-se que tal observação está relacionada à característica da *commodity* (café arábica) especificada nos contratos futuros, cujo índice de pureza é alto – característica que não se assemelha totalmente ao produto negociado-adquirido pela agroindústria cafeeira.

Figura 1 – Preços à vista de compra do café (em grãos) e futuros do café arábica (em reais por saca)

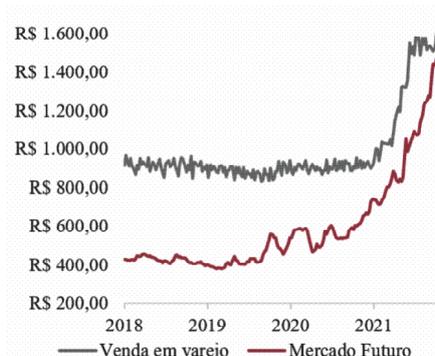


Fonte: Dados da pesquisa

Em continuidade à observância e análise do comportamento de preços, são apresentadas, na Figura 2, as séries de preços do café arábica nos mercados futuro e à vista. Nessa ilustração, a série de preços futuros compreende os preços médios semanais cotados em reais praticados nas negociações-liquidações dos contratos futuros do café arábica na Brasil, Bolsa, Balcão (B3) – convertidos monetariamente (para real brasileiro) conforme especificado na seção anterior do presente artigo. Já a série de preços do mercado à vista abarca o comportamento dos preços médios semanais em reais de venda do café moído e torrado praticados pela agroindústria cafeeira.

Ainda na Figura 2, observa-se uma maior estabilidade de preços no período 2018-2019, assim como maior similaridade no comportamento da volatilidade dos preços futuros e à vista de venda praticados pela agroindústria cafeeira. Verificou-se também que, em 2020, os preços de negociação dos contratos futuros de café aproximaram-se dos valores de venda praticados pela agroindústria cafeeira. Infere-se que esse comportamento observado na Figura 2 esteja associado à resistência de preços de venda para o varejo no mercado à vista frente às pressões do ambiente mercadológico no período, que envolveram, principalmente, a pandemia SARS-COVID-19 e a desvalorização cambial. Já a partir de 2021, foi verificada maior proximidade entre os preços futuros e à vista de venda para o varejo.

Figura 2 – Preços à vista de venda do café (torrado e moído) e futuros do café arábica (em reais por saca)



Fonte: Dados da pesquisa

Após à análise primária do comportamento de preços à vista de venda para o varejo do café moído e torrado e dos preços futuros do café arábica na B3, apresenta-se, na Tabela 1, a estatística descritiva dos preços à vista (venda/distribuição/varejo) e futuros. Acerca da estatística descritiva dos preços de venda do café torrado e moído para o varejo, observou-se que a média de preços se manteve cerca de 40% superior à dos preços futuros na data do vencimento dos contratos no mercado futuro. Essa diferença é justificada pelo fato de o ativo protegido tratar-se de um produto industrializado, cujo valor agregado ao processamento (torrefação e moagem) encontra-se na composição dos preços de negociação com o varejo. Quanto à análise das estimativas de dispersão dos preços à vista de venda e preços futuros, observou-se que o mercado futuro apresentou maior volatilidade de preços em relação à série de preços da venda para o varejo no mercado à vista. Em resumo, o mercado futuro apresentou coeficiente de variação superior se comparado ao estimado para os preços de venda ao varejo. Assim, pelo teste de Jarque e Bera (1987), foi rejeitada a hipótese nula de normalidade das séries.

Tabela 1 – Estatística descritiva dos preços médios semanais de venda do café (distribuição/varejo) e futuros do café arábica (em reais por saca) entre 03/2018 e 12/2021

Estatísticas	Venda/Distribuição/Varejo	Mercado Futuro
Média	991,97	598,96
Mediana	909,30	493,44
Máximo	1708,80	1470,52
Mínimo	831,60	379,49
Desvio-Padrão	211,77	261,69
Coeficiente de variação	21,35%	43,69%
Assimetria	2,07	1,80
Curtose	5,86	5,51
Teste de Jarque-Bera	212,74	160,99
<i>p-valor</i>	0,0000	0,0000
Observações	200	200

Fonte: Dados da pesquisa.

Quanto à análise da estatística descritiva das séries de preços médios mensais de compra do café pela agroindústria cafeeira e preços médios mensais do café arábica no mercado futuro da B3, os resultados encontram-se expostos na Tabela 2. Observa-se que os preços do café arábica negociados no mercado futuro foram superiores em, aproximadamente, 38% aos preços de compra do café no mercado à vista. Quanto ao coeficiente de variação, infere-se, novamente, que a série de preços no mercado futuro são mais voláteis quando comparadas as variações dos preços de compra do café no mercado à vista.

Tabela 2 – Estatística descritiva dos preços médios mensais de compra do café (em grãos) e futuros do café arábica (em reais por saca) entre 03/2018 e 12/2021

Estatísticas	Compra/Agroindústria	Mercado Futuro
Média	372,38	597,79
Mediana	316,24	488,14
Máximo	804,55	1452,15
Mínimo	278,46	384,35
Desvio-Padrão	134,26	261,52
Coeficiente de variação	36,05%	43,75%
Assimetria	1,90	1,80
Curtose	5,47	5,50

Estadísticas	Compra/Agroindústria	Mercado Futuro
Teste de Jarque-Bera	39,41	36,90
<i>p-valor</i>	0,0000	0,0000
Observações	46	46

Fonte: Dados da pesquisa

Na sequência, são apresentadas, na Tabela 3, as estimativas de correlação linear entre os preços do café arábica no mercado futuro e os preços de compra do café em grãos no mercado à vista e preços de venda (distribuição/varejo) do café pela agroindústria cafeeira. Essa medida de associação linear é um procedimento preliminar indicativo ou não da possibilidade efetiva de se proteger um ativo do mercado à vista em um mercado futuro adjacente, isto é, o que é possível desde que esses ativos apresentem correlação estatisticamente significativa.

Tabela 3 – Correlação linear entre os preços à vista do café (venda-distribuição/varejo e compra-agroindústria) e preços futuros do café arábica

Estadísticas de Correlação Linear	Venda/Distribuição/Varejo	Compra/Agroindústria
Correlação de Pearson	0,9278	0,8610
Estatística <i>t</i>	34,9888	11,2295
<i>p-valor</i>	0,0000	0,0000

Fonte: Dados da pesquisa.

Na Tabela 3, pode ser observado que a associação linear entre os preços de venda do café para o varejo e os preços no mercado futuro do café arábica na B3 apresenta correlação alta e positiva de, aproximadamente, 93%, sendo estatisticamente significativa ao nível de 1%. Quanto à associação linear entre os preços de compra do café pela agroindústria cafeeira, também se verificou correlação alta e positiva de, aproximadamente, 86% com os preços no mercado futuro de café arábica da B3 ao nível de significância estatística de 1%. Essas estimativas sugerem a possibilidade potencial de efetividade nas operações de *cross hedge* de compra e venda por parte da agroindústria cafeeira, utilizando-se contratos de café arábica do mercado futuro da B3. A associação linear verificada corrobora o exposto por Wang e Yau (1994), os quais afirmaram que, quanto maior é a associação entre os mercados futuro e à vista, maior será a probabilidade de descoberta da razão ótima de contratos futuros para trava de um preço objetivo.

Após a análise descritiva dos preços, seguem-se os testes para verificação da estacionariedade das séries realizados a partir do teste de raiz unitária aumentado de Dickey e Fuller (1981), cuja finalidade é de também apontar a ordem de integração das séries, que são elementos tidos como essenciais para consecução do teste de hipótese de efetividade do mercado futuro na mitigação do risco. O teste da raiz unitária foi realizado, primeiramente, em nível (série original dos preços à vista e futuros), tendo sido atestados, pelos valores da estatística *d* de Durbin e Watson (1951), problemas de autocorrelação.

Em seguida, pelo teste da raiz unitária na primeira diferença (série de retornos dos preços à vista e futuros), registrou-se que as séries de preços são estacionárias e não apresentam problemas de autocorrelação na primeira diferença. Esses procedimentos foram os mesmos adotados por Franco, Oliveira Neto e Machado (2016) ao estudarem a efetividade das operações de *hedge* para o etanol de Pernambuco e Alagoas no mercado futuro da BM&FBovespa. Na sequência, foi realizado o teste ARCH-LM para verificação da hipótese de homoscedasticidade, conforme sugerido por Tsay (2013). Os resultados para as séries de preços à vista e futuros apontaram para rejeição da hipótese de homoscedasticidade, sugerindo que são heterocedásticas, o que assinala que todas as séries em estudo podem adequadamente ser representadas por modelos GARCH.

Finalizados os testes de verificação de estacionariedade e heterocedasticidade das séries de preços nos mercados à vista e futuros, o estudo segue com a exposição da razão ótima e da efeti-

vidade do *cross hedging* estimadas a partir da aplicação do modelo de variância mínima (VM) de Ederington (1979). Os cálculos foram realizados em observações dentro da amostra (período entre março de 2018 e dezembro de 2021) e fora dela. O teste fora da amostra foi gerado pelo método *bootstrap* com período igual a um terço da amostra, abrangendo período de um ano. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Razão ótima de *cross hedge* pela aplicação do modelo de variância mínima

Coeficientes do Modelo de VM	Venda/Distribuição/Varejo	Compra/Agroindústria
<i>a</i>	542,2698	108,1470
<i>ch</i>	0,7508*	0,4420*
<i>p</i> -valor da estatística <i>t</i>	0,0000	0,0000
Estatísticas do Modelo de VM	Venda/Distribuição/Varejo	Compra/Agroindústria
Estatística <i>F</i>	1224,2160	126,1006
<i>p</i> -valor ( <i>F</i> )	0,0000	0,0000
<i>R</i> <sup>2</sup>	0,8608	0,7413
<i>R</i> <sup>2</sup> ajustado	0,8601	0,7355
<i>LV</i>	-1157,2220	-259,0564
<i>AIC</i>	11,5922	11,3503
<i>SBC</i>	11,6252	11,4298
<i>DW</i>	0,3356	0,5690
Teste in-sample (dentro da amostra)	Venda/Distribuição/Varejo	Compra/Agroindústria
var( <i>ch</i> ) - var da carteira do <i>ch</i>	6243,8548	4663,0474
Desvio de e%	3,7312	5,0860
e% (efetividade do <i>ch</i> )	86,0781	74,1330
Teste out-of-sample (fora da amostra)	Venda/Distribuição/Varejo	Compra/Agroindústria
var( <i>ch</i> ) - var da carteira do <i>ch</i>	6439,3376	3101,1407
Desvio de e%	5,3278	3,2761
e% (efetividade do <i>ch</i> )	71,6146	89,2669

Fonte: Dados da pesquisa.

Notas: (VM) modelo de variância mínima de Ederington (1979), (*ch*) é a razão ótima de *cross hedge*, (*LV*) Log-verossimilhança, (*AIC*) critério de informação de Akaike, (*SBC*) critério de informação de Schwarz, (*DW*) estatística *d* de Durbin e Watson e (\*) coeficientes do modelo VM estatisticamente significantes ao nível de 1%.

Ao observar os coeficientes estimados a partir do modelo de variância mínima, conforme apresentado na Tabela 4, nota-se que as razões ótimas de *cross hedge* são estatisticamente significantes a nível de 1% em todas as séries testadas (venda/distribuição/varejo e compra/agroindústria). Com relação à efetividade das operações de *cross hedge* a partir do modelo de variância mínima, todos os testes rejeitaram a hipótese da não efetividade com mitigação de risco superior a 70%. Em análise dos testes dentro da amostra, observa-se que os contratos de café arábica no mercado futuro da B3 apresentaram maior efetividade na minimização do risco de variação de preços para a venda (distribuição/varejo) do café moído e torrado pela agroindústria cafeeira, haja vista o nível de efetividade tendo atingido, aproximadamente, 86%.

A efetividade das operações de *cross hedge* a partir do mercado futuro do café arábica da B3 para minimização do risco de variação de preços de compra do café em grãos no mercado à vista por parte da agroindústria cafeeira apresentou nível próximo a 74%. Com relação aos testes executados fora da amostra, os resultados apresentados são inversos aos encontrados pelos testes dentro da amostra, haja vista a efetividade superior nas operações de *cross hedge* na compra do café pela agroindústria cafeeira a partir dos contratos de café arábica do mercado futuro da B3. Os níveis de efetividade para as operações de *cross hedge* (venda/distribuição/varejo) e *cross hedge* (compra/agroindústria) com dados fora da amostra foram iguais a 71,16% e 89,27%, respectivamente.

Analisada a efetividade das operações *cross hedge* obtidas pela aplicação da razão ótima do modelo de variância mínima de Ederington (1979), apresentam-se, a seguir, os resultados da efetividade a partir da aplicação da razão ótima do modelo heterocedástico autorregressivo generalizado bivariado diagonal *BEKK* de Engle e Kroner (1995). Os cálculos e estimativas apresentadas na Tabela 5 foram realizados dentro e fora da amostra em conformidade com os testes da Tabela 4.

Tabela 5 – Razão ótima de *cross hedge* pela aplicação do modelo heterocedástico *BEKK*

Coefficientes do Modelo BEKK (1,1)	Venda/Distribuição/Varejo	Compra/Agroindústria
$c_{11}$	404,3442*	285,3506*
$c_{12}$	27,1171	16,8059
$c_{22}$	45,2962	-12,6194
$a_{11}$	0,7433*	64,1230
$a_{22}$	0,6980*	1,0264*
$b_{11}$	0,6372*	0,6132*
$b_{22}$	0,7105*	0,5180*
$n$	895,6044	0,8889
Estadísticas do Modelo BEKK	Venda/Distribuição/Varejo	Compra/Agroindústria
$LV$	-2149,8130	-493,4289
$AIC$	21,5881	21,8447
$SBC$	21,7366	22,2025
Equação da Razão de <i>Cross hedge</i>	Venda/Distribuição/Varejo	Compra/Agroindústria
$Cov$	67554,8100	43452,9400
$Var$	97078,2600	92329,7600
$ch$	0,6959	0,4706
Teste in-sample (dentro da amostra)	Venda/Distribuição/Varejo	Compra/Agroindústria
$var(ch)$ - var da carteira do $ch$	6450,5100	4719,0069
Desvio de e%	3,7925	5,1164
e% (efetividade do $ch$ )	85,6173	73,8225
Teste out-of-sample (fora da amostra)	Venda/Distribuição/Varejo	Compra/Agroindústria
$var(ch)$ - var da carteira do $ch$	6363,7945	3111,4486
Desvio de e%	5,2965	3,2816
e% (efetividade do $ch$ )	71,9476	89,2312

Fonte: Dados da pesquisa

Notas: (*BEKK*) modelo heterocedástico autorregressivo generalizado bivariado diagonal *BEKK* de Baba *et. al.* (1990) e Engle e Kroner (1995), ( $LV$ ) log-verossimilhança, ( $AIC$ ) critério de informação de Akaike, ( $SBC$ ) critério de informação de Schwarz, ( $n$ ) coeficiente da distribuição  $t$ , (\*) coeficientes do modelo *BEKK* estatisticamente significantes ao nível de 1%, ( $W_{t-1}$ ) é a matriz de covariância condicional,  $Cov(\Delta S_{t-1}, \Delta F_{t-1})$  é a covariância entre os preços à vista e futuros,  $Var(\Delta F_{t-1})$  é a variância dos preços futuros e, ( $ch$ ) é a razão ótima de *cross hedge*.

Ao analisar a Tabela 5, observa-se que os valores obtidos pelo modelo *BEKK* são similares àqueles obtidos a partir do modelo de variância mínima. Nota-se também que a razão ótima para o *cross hedge* (venda/distribuição/varejo) pelo modelo *BEKK* é superior à razão ótima para o *cross hedge* a partir do modelo de variância mínima com valores iguais a 0,6959 e 0,7508, respectivamente. Na prática, a diferença entre as razões ótimas, caso haja mesmo nível de efetividade entre os modelos, resulta em maior dispêndio financeiro por parte da agroindústria cafeeira, o que se deve ao maior volume de contratos para a carteira a ser protegida (*hedgedada*) e às obrigações com as chamadas de margens de garantia diárias (em inglês, *margin calls*).

Para os testes dentro da amostra nas operações de *cross hedge*, notou-se efetividade próxima a 85% de mitigação do risco, que é um patamar muito similar ao obtido pela aplicação da razão ótima do modelo de variância mínima. O mesmo resultado é obtido ao avaliar a efetividade das operações de *cross hedge* a partir dos dados fora da amostra, cujo modelo de variância mínima apresentou percentual em mitigação do risco muito próximo ao obtido pelo uso da razão ótima estimada pelo modelo *BEKK*, porém com maior aporte em contratos futuros de café.

Quanto aos resultados de efetividade do *cross hedging* obtidos por meio da razão ótima de *cross hedge* estimada pelo modelo *BEKK* voltada para o gerenciamento do risco de preços de compra por parte da agroindústria cafeeira, foram observados níveis de efetividade semelhantes aos obtidos pelo uso da razão ótima de *cross hedge* do modelo de variância mínima.

Entretanto, ao comparar as razões ótimas de *cross hedge*, observa-se que aquela estimada pelo modelo *BEKK* apresenta maior aporte em contratos futuros. Assim, dado o mesmo nível de efetividade em relação ao modelo de variância mínima, sugere-se maior economicidade pelo uso da razão ótima de *cross hedge* do último devido aos eventuais dispêndios com as chamadas de margens, que são obrigações acessórias dos *hedgers* que operam em mercados futuros com o intuito de gerenciamento de risco de preços do mercado à vista.

Conclui-se, portanto, que ambos os modelos de variância mínima e heterocedástico admitem o gerenciamento de risco de preços em patamares muito semelhantes. Entretanto, na prática, ao considerar essa informação, deve-se avaliar a proporção de aporte em contratos futuros do café arábica na B3. Logo, ao considerar os dispêndios associados aos contratos de mercados futuros, conclui-se que o modelo *BEKK* apresentou melhor aplicabilidade para as operações de *cross hedge* voltadas ao gerenciamento do risco de venda do café (distribuição/varejo). Em contrapartida, o modelo de variância mínima apresentou melhor aplicabilidade para as operações de *cross hedge* direcionadas ao gerenciamento do risco de compra do café pela agroindústria cafeeira.

Embora, na presente pesquisa, tenha sido adotada a estratégia de *cross hedge* devido à falta de produto de igual característica no mercado futuro, destaca-se que os resultados encontrados corroboram os dos estudos de Fileni, Marques e Machado (1999), Pinto e Silva (2001), Müller, Moura e Lima (2008), Kairalla (2016) e Souza, *et al.* (2017). Tais estudos encontraram que o *hedge* é efetivo na mitigação dos riscos de variação de preços do café para o produtor, enquanto esta pesquisa verificou a efetividade do *cross hedge* na agroindústria cafeeira, tanto na compra do café em grãos, quanto na venda do café torrado e moído.

Na sequência, conforme delineado nos procedimentos metodológicos desta investigação, foram avaliadas as estratégias de *full hedge* ou cobertura completa. Os resultados são apresentados na Tabela 6 e dizem respeito a operações com proporção de um para um entre o produto negociado no mercado físico e ativo usado para realização do *cross hedging*.

Tabela 6 – *Cross hedging* completo (*full hedge*)

<i>Teste in-sample (dentro da amostra)</i>	Venda/Distribuição/Varejo	Compra/Agroindústria
<i>ch</i>	1,0000	1,0000
$\text{var}(ch)$ - var da carteira do <i>ch</i>	10496,2538	25957,7854
Desvio de e%	4,8377	11,9998
e% (efetividade do <i>ch</i> )	76,5965	0,00
<i>Teste out-of-sample (fora da amostra)</i>	Venda/Distribuição/Varejo	Compra/Agroindústria
<i>ch</i>	1,0000	1,0000
$\text{var}(ch)$ - var da carteira do <i>ch</i>	9288,1982	40149,9991
Desvio de e%	6,3987	11,7881
e% (efetividade do <i>ch</i> )	59,0565	0,00

Fonte: Dados da pesquisa

Nota: o *cross hedge* completo não atingiu efetividade para a agroindústria cafeeira (testes dentro e fora da amostra). O *cross hedge* completo não atingiu efetividade para o varejo no teste fora da amostra. (*ch*) é a razão ótima de *cross hedge* pela estratégia de cobertura completa – *full hedge*.

Ao observar, na Tabela 6, os resultados obtidos na estratégia de *full hedge* para minimização da variação dos preços de venda do café e preços de compra pela agroindústria cafeeira, concluiu-se que a aplicabilidade dessas estratégias é inadequada devido ao fato de a efetividade estimada ser inferior à encontrada se comparada, quando adotadas as estratégias por meio dos modelos dinâmicos (*BEKK*) e estáticos (*VM*), caracterizadas pelo cálculo e uso de razões ótimas de *cross hedge*.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O gerenciamento de risco é muito importante para a sustentabilidade econômica das empresas. O *hedge*, estratégia que permite a trava de preços a partir de operações inversas em ativos de características idênticas, e o *cross hedge*, a partir de estratégias com utilização de ativos de fundamentos semelhantes, são tidas como ferramentas essenciais para mitigação de riscos e incertezas de diversos mercados-preços. Nesse sentido, este estudo objetivou analisar a efetividade das operações de *cross hedge* no mercado futuro do café arábica da Brasil, Bolsa, Balcão (B3) para a mitigação do risco de preços de compra e venda de café em uma agroindústria cafeeira.

Os resultados demonstraram que as operações de *cross hedge* para a compra do café utilizado no processamento da agroindústria cafeeira são efetivas com o uso da razão ótima calculada a partir do modelo de variância mínima e do modelo heterocedástico *BEKK*. As projeções com testes fora da amostra também apresentaram alta efetividade para ambos os modelos de estimação (*VM* e *BEKK*). As operações de *cross hedge* projetadas para a mitigação do risco de variação dos preços de venda (distribuição/varejo) também apresentaram resultados efetivos para ambos os modelos de estimação e testes dentro e fora da amostra.

Ao avaliar os resultados gerais obtidos nesta pesquisa, pode-se afirmar que as operações de *cross hedge* são viáveis para agroindústrias cafeeiras. Todavia, ressalta-se que a agroindústria cafeeira avaliada não aplica essas estratégias em seu negócio. Esse ponto, que pressupõe a prática de não utilização dessa estratégia por determinados elos da cadeia produtiva cafeeira, é corroborado por Müller, Moura e Lima (2008), que afirmam que produtores de café arábica, geralmente, não adotam qualquer estratégia para mitigação de risco da variação de preços. Portanto, é certo que produtores de café e agroindústrias cafeeiras têm assumido riscos financeiros potencialmente evitáveis em suas operações.

Como elemento limitante da presente pesquisa, destaca-se o uso de séries temporais de preços médios mensais e semanais e a cotação em moeda nacional (real) e não em dólar americano (moeda de cotação – contrato futuro da B3) para o cálculo da razão ótima e efetividade das operações de *cross hedge* na mitigação do risco de preços de compra e de venda do café da agroindústria cafeeira. Diante disso, fez-se necessária a conversão da série de preços futuros de dólar americano para o real brasileiro, o que, em hipótese, pode resultar em alguma perda de informação associada a possíveis erros de conversão monetária. Mesmo diante da possibilidade dessa limitação, sugere-se que estudos futuros também verifiquem a efetividade das operações de *hedge* e *cross hedge* de outros produtos agrícolas de modo a promover/incentivar a adoção/aplicação e o desenvolvimento dessas estratégias de mitigação do risco de preços por parte dos agentes que atuam nas mais diversas cadeias produtivas agroindustriais brasileiras.

## REFERÊNCIAS

ANDERSON, R. W.; DANTHINE, J. P. Cross hedging. **The Journal of Political Economy**, v. 89, n. 6, p. 1182-1196, dez. 1981. ISSN: 0022-3808. Disponível em: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/pdf/10.1086/261028>. Acesso em: 28 abr. 2023.

BARROS, A. M.; AGUIAR, D. R. D. Gestão do risco de preço de café arábica: uma análise por meio do comportamento da base. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 3, p. 443-464, jul./set. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032005000300003>. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/resr/v43n3/27741.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2018.

BRASIL. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA). Café. Brasília, 2021.

\_\_\_\_\_. Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC). Estatísticas. Brasília, 2021.

\_\_\_\_\_. Comissão de Valores Mobiliários (CVM). Deliberação CVM N° 763, 2016.

BROOKS, C.; DAVIES, R. J.; KIN, S. S. **Reducing basis risk for stocks by cross hedging with matched futures**. ISMA Centre discussion papers in finance, 2004. Disponível em: <http://www.icmacentre.ac.uk/pdf/discussion/DP2004-16.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2012.

CARDOSO, J. **Metodologia da pesquisa**. Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2003.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root. **Journal Of The Econometric Society**, v. 49, n. 4, p. 1057-1072, 1981. DOI: <https://doi.org/10.2307/1912517>. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1912517>. Acesso em: 16 mai. 2023.

DURBIN, J.; WATSON, G. S. Testing for serial correlation in least-squares regression II. **Biometrika**, v. 38, n. 1/2, p. 159-177, jun. 1951. DOI: <https://doi.org/10.2307/2332325>. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2332325>. Acesso em: 28 abr. 2023.

EDERINGTON, L. H. The hedging performance of the new futures markets. **The Journal of Finance**. v. 34, p. 157-170, 1979. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/pdf/2327150.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2023.

ENGLE, R. F.; KRONER, K. F. Multivariate Simultaneous Generalized ARCH. **Econometric Theory**. v. 11, p. 122-150, 1995. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/3532933>. Acesso em: 16 mai. 2023.

FILENI, D. H.; MARQUES, P. V.; MACHADO, H. M. O risco de base e a efetividade do hedge para o agronegócio do café em Minas Gerais. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 1, n.1, p. 42-50, jan./jun. 1999. ISSN: 2238-6890. Disponível em: <http://www.revista.dae.ufla.br/index.php/ora/article/view/300/297>. Acesso em: 20 mar. 2022.

FONTES, R. E.; CASTRO JÚNIOR, L. G.; AZEVEDO, A. F. Estratégia de comercialização em mercados derivativos: descobrimento de base e risco de base da cafeicultura em diversas localidades de Minas Gerais e São Paulo. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 2, p. 382-389, mar/abr. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542005000200016>. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cagro/v29n2/a16.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2018.

FRANCO, F.; OLIVEIRA NETO, O.; MACHADO, W. B. Efetividade das operações de hedge para o etanol de Pernambuco e Alagoas no mercado futuro da BM&FBovespa. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 47, p. 49-64, jan./mar. 2016. ISSN eletrônica (on line) 2357-9226. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/index.php/ren/article/view/589/467>. Acesso em: 28 abr. 2023.

GALVÃO, A. B. C.; PORTUGUAL, M. S.; RIBEIRO, E. P. Volatilidade e causalidade: evidências para o mercado a vista e futuro de índices de Ações no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, p. 37-56, Jan-Mar 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-71402000000100002>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbe/a/wGzPwZhfNKWtmySsKS7FMFd/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 15 set. 2021.

HARZER, J. H.; SILVA, W. V.; SOUZA, A.; DEL CORSO, J. M. Efetividade do hedge de variância mínima no mercado futuro de café negociado na BM&FBovespa. **Revista Custos e @gronegócio on line**, v. 10, n. 1, p. 169-189, jan./mar. 2014. ISSN 1808-2882. DOI: <https://doi.org/10.5902/1983465913003>. Disponível em: <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero1v10/hedge.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2019.

JARQUE, C. M.; BERA, A. K. A Test for Normality of Observations and Regression Residuals. **International Statistical Review**, v. 55, n. 2, p. 163-172, 1987. DOI: <https://doi.org/10.2307/1403192>. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1403192>. Acesso em: 16 mai. 2023.

KAIRALLA, J. C. **Avaliação do risco e o impacto do hedge simultâneo de preços e câmbio para o exportador de café no Brasil**. 2015, 101 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, 2015. DOI: 10.11606/D.11.2016.tde-14122015-092754. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-14122015-092754/pt-br.php>. Acesso em 28 abr. 2023.

RIBEIRO, K. C. S.; SOUSA, A. F.; ROGERS, P. Preços do café no Brasil: variáveis preditivas no mercado à vista e futuro. **Revista de gestão USP**, v. 13, n. 1, p. 11-30, 2006. DOI: 10.5700/issn.2177-8736.rege.2006.36547. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001551508>. Acesso em: 28 abr. 2023.

LAMOUNIER, W. M. Análise da volatilidade dos preços no mercado spot de cafés do Brasil. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 8, n. 1511-2016-131256, p. 160-175, 2006. ISSN 2238-6890. Disponível em: <http://www.revista.dae.ufla.br/index.php/ora/article/view/166>. Acesso em: 28 abr. 2023.

MAIA, F. N. C. S.; AGUIAR, D. R. D. Estratégias de hedge com os contratos futuros de soja da Chicago Board of Trade. **Gestão Produção**, v. 7, n. 3. p. 617-626, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2010000300014>. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/gp/v17n3/14.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2019.

MARQUES, P. V.; MELLO, P. C.; MARTINES FILHO, J. G. **Mercados futuros e de opções agropecuárias**. Departamento de Economia, Administração e Sociologia da ESALQ/USP, Piracicaba, SP, Brasil. Série Didática nº D-129, 2006. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/76254993/2006-marques-mercado-futuro-e-opcoes-agropecuarias>. Acesso em: 28 abr. 2023.

MARTINS, C. M. F. **A volatilidade nos preços futuro do café brasileiro e seus principais elementos causadores**. 2005. 154 f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/2025>. Acesso em: 28 abr. 2023.

MÜLLER, C. A. S. **Análise da efetividade das estratégias estáticas e dinâmicas de hedge para o mercado brasileiro de café arábica**. 2007, 132 f. Tese (Doutorado em economia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007. Disponível em: <https://www.livrosgratis.com.br/ler-livro-online-7189/analise-da-efetividade-das-estrategias-estaticas-e-dinamicas-de-hedge-para-o-mercado-brasileiro-de-cafe-arabica>. Acesso em: 28 abr. 2023.

MÜLLER, C. A. S.; MOURA, D. A.; LIMA, E. J. Análise comparativa entre estratégias de Hedge com base em modelos estáticos e dinâmicos para contratos futuros de café arábica. In: XLVI CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, 46., 2008, **Anais...** Rio Branco: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2008 p. 1-21. DOI: 10.22004/ag.econ.113187. Disponível em: <https://ageconsearch.umn.edu/record/113187>. Acesso em: 25, Set. 2021.

OLIVEIRA NETO, O.J.; GARCIA, F.G.; *Cross hedging* do novilho argentino no mercado futuro do boi gordo brasileiro. **Custos e @gronegócios on line**. v. 9, n. 2, p. 117-151, Abr./Jun. 2013.

ISSN 1808-2882. Disponível em: <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero2v9/Hedge%20cruzado.pdf>. Acesso em 20, Mar. 2022.

PINTO, W. J.; SILVA, O. M. Efetividade *do* hedging em contratos de café no mercado mundial. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória, **Anais...** Vitória: Consórcio Brasileiro de Pesquisas e Desenvolvimento do Café, 2001. p. 1-9. Disponível em: [http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb\\_anais/simposio2/economia16.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio2/economia16.pdf). Acesso em: 28 abr. 2023.

REGO, R. B.; PAULA, O. F. O mercado futuro e a comercialização de café: influências, riscos e estratégias com o uso do Hedge. **Revista Gestão e Conhecimento**, v. 7, n. 1, p. 1-26, mar./jun. 2012. ISSN 1808-6594. Disponível em: <https://www.pucpcaldas.br/graduacao/administracao/revista/artigos/v7n1/v7n1a1.pdf>. Acesso em: 27 Set. 2021.

SANTIAGO, L. A.; MATTOS, L. B. Análise de operações de cross hedge para o Mercado de Açúcar Cristal no Brasil. **Perspectiva Econômica**, v. 10, n. 2, p. 122-132, 2014. DOI: DOI:10.4013/pe.2014.102.05. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/285305426\\_Analise\\_de\\_operacoes\\_de\\_cross\\_hedge\\_para\\_o\\_mercado\\_de\\_acucar\\_cristal\\_no\\_Brasil](https://www.researchgate.net/publication/285305426_Analise_de_operacoes_de_cross_hedge_para_o_mercado_de_acucar_cristal_no_Brasil). Acesso em: 28 abr. 2023.

SOUZA, W. A. R.; COSTA, A. R. R.; CAVALCANTE, T. S. B.; ZANCAN, C.; MARQUES, P. V. Avaliação de Eficiência de Estratégias de Hedge para o Risco de Preço do Café do Brasil com o Uso de Contratos da BM&FBovespa. **Revista de Administração da UFSM**, v. 10, n. 5, p. 908-928, 2017. DOI: 10.5902/1983465913003. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reaufsm/article/view/13003/pdf>. Acesso em: 09 jan. 2019.

TSAY, R. S. **Multivariate time series analysis: with r and financial applications**. John Wiley & Sons: 2013.

WANG, G. H. K.; YAU, J. A time series approach to testing for market linkage: unit root and cointegration tests. **Journal of Futures Markets**, v. 14, n. 4, p. 457-474, June. 1994. DOI: <https://doi.org/10.1002/fut.3990140407>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fut.3990140407>. Acesso em: 28 abr. 2023.

ZANOTTI, G.; GABBI, G.; GERANIO, M. Hedging with futures: efficacy of garch correlation models to european electricity markets. **Journal of International Financial Markets, Institutions & Money**. v. 20, p. 135–148, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2009.12.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1042443109000535>. Acesso em: 28 abr. 2023.