

AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA DE ESTRATÉGIAS DE HEDGE PARA O RISCO DE PREÇO DO CAFÉ DO BRASIL COM O USO DE CONTRATOS DA BM&FBOVESPA

EVALUATION OF HEDGING STRATEGIES EFFECTIVENESS FOR COFFEE PRICE RISK IN BRAZIL WITH THE USE OF BM&FBOVESPA CONTRACTS

Data de submissão: 26/02/2014

Aceite: 20/05/2016

Waldemar Antonio da Rocha de Souza¹

André Ricardo Reis Costa²

Tristão Sócrates Baptista Cavalcante³

Claudio Zancan⁴

Pedro Valentim Marques⁵

RESUMO

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café. Entretanto o novo regime de preços e volatilidade a partir da crise de 2008, bem como o aumento da concorrência pela entrada de novos *players* expressaram a necessidade de uso de mecanismos de mercado para gestão de risco de preço. Entre as alternativas, ilustravam-se os mercados futuros, em particular os contratos futuros de café da BM&FBOVESPA, do Brasil. Objetivou-se avaliar a eficiência das estratégias sem *hedge*, *hedge* simples (*naïve*), *hedge* estático e *hedge* dinâmico calculado pelo modelo GARCH-BEKK na gestão de risco dos preços do café das principais regiões produtoras brasileiras. A eficiência dos *hedges* estático e dinâmico foi superior à das outras estratégias, embora o último possibilite a calibragem das taxas de *hedge* intertemporais, diminuindo os custos operacionais. Também, o uso dos contratos futuros de café da BM&FBOVESPA para *hedge* aumentará a liquidez do mercado, possibilitando a esquematização de várias alternativas operacionais.

Palavras-chave: Café; Estratégias de *hedge*; Eficiência; BM&FBOVESPA.

1 Possui Graduação em Economia pela Universidade Federal do Amazonas, UFAM. Mestrado em Economia pela Fundação Getúlio Vargas, FGV. Doutorado em Ciências (Economia Aplicada) pela Universidade de São Paulo, USP. Maceió. Alagoas. Brasil. E-mail: warsouza@ufam.edu.br

2 Possui Graduação em Ciências Contábeis pela Universidade Federal do Amazonas, UFAM. Mestrado em Contabilidade e Controladoria pela Universidade Federal do Amazonas, UFAM. Atualmente é Doutorando em Administração pela Universidade de São Paulo e Professor Assistente do Departamento de Contabilidade da Universidade Federal do Amazonas. Manaus. Amazônia. Brasil. E-mail: andrecoستا@ufam.edu.br

3 Possui Graduação em Ciências Econômicas e Administração pela Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Especialização em Engenharia Econômica e MBA em Gestão de Instituição de Ensino pelo Centro Universitário do Norte - UNINORTE (2007). Mestrado em Engenharia da Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Mestrado em Economía y Empresa - Univesitat de Les Illes Balears. Doutorado em Engenharia da Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Atualmente cursando Pós-Doutorado em Administração na Universidade Federal de Minas Gerais pesquisando Custos na área da saúde. Atualmente professor concursado da Universidade Federal do Amazonas. Manaus. Amazônia. Brasil. E-mail: tristaosbc@gmail.com

4 Possui Graduação em Ciências Contábeis. Especialização em Marketing e em Comércio Exterior. Mestrado em Administração na linha de pesquisa Marketing Industrial. Doutorado em Administração na linha de pesquisa Inovação e Redes de Cooperação Interorganizacional. Atualmente é Professor Adjunto vinculado a Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade na Universidade Federal de Alagoas. A linha de pesquisa é sobre Redes de Cooperação Interorganizacional e Inovação. Maceió. Alagoas. Brasil. E-mail: claudiozancan@gmail.com

5 Possui graduação em Engenharia Agrônoma pela Universidade de São Paulo. Mestrado em Economia e Sociologia Rural pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz Esalq. Doutorado em Economia Agrícola - University Of Kentucky. Atualmente é Professor Titular da Universidade de São Paulo. Atua na área de Economia com ênfase mercados futuros agropecuários, agribusiness, agronegócios, descobrimento de preços e organização de mercados agroindustriais. Piracicaba. São Paulo. Brasil. E-mail: pvmarque@usp.br

ABSTRACT

Brazil is the world's largest coffee producer and exporter. However the new prices and volatility scenario since the 2008 crisis and the increasing competition of new players entry have expressed the need for use of market mechanisms for managing price risk. Among the alternatives illustrated are the futures markets, in particular the coffee futures contracts at BM&FBOVESPA, Brazil. Our aim was to evaluate the efficiency of no hedge, simple (naïve) hedge, static and dynamic hedge calculated by GARCH-BEKK strategies in managing price risk in the leading Brazilian coffee producing regions. The efficiencies of static and dynamic hedging strategies were superior to the other, although the latter allows the calibration of intertemporal hedging rates, reducing operational costs. Also, the use of BM&FBOVESPA coffee futures contracts for hedging might increase market liquidity, enabling various operational alternatives design.

Keywords: Coffee; Hedging strategies; Efficiency; BM&FBOVESPA.

1 INTRODUÇÃO

Os mercados futuros agropecuários arrolam uma alternativa para mensurar e administrar eficientemente o risco de preços das *commodities* brasileiras. Identificam-se, por exemplo, o aumento do risco dos preços agropecuários pelos recentes níveis absolutos e a volatilidade de preços de *commodities* após a crise financeira do *subprime* de 2008 (EUROPEAN COMMISSION, 2009). O novo regime de níveis e volatilidade de preços agropecuários nos mercados internacionais ilustra a necessidade de mitigação de riscos eficientemente, classificando-se como mecanismos potenciais os contratos futuros e de opções, brasileiros e internacionais.

Como exemplo, os mercados futuros podem ser usados em várias engenharias para o auxílio na descoberta de preços, a melhoria da gestão de risco, a facilitação para medir e captar capital de giro adicional e o fornecimento de fontes de informações para a tomada de decisões (LEUTHOLD; JUNKUS; CORDIER, 1989).

Contudo, em comparação com grandes *players* internacionais, como, por exemplo, os Estados Unidos, a China e a Argentina, o uso dos mercados futuros agropecuários no Brasil ainda aponta volumes baixos. Apontaram-se os volumes diários, os contratos negociados, os contratos em aberto e o giro financeiro dos contratos futuros das principais *commodities* agropecuárias brasileiras inferiores aos contratos similares negociados nas bolsas de futuros e de opções dos países (LEÃO et al., 2013). O registro pode descrever a subutilização de um eficiente mecanismo de mercado para mitigar os riscos de preço, possibilitando esquematizar engenharias financeiras para as fases e necessidades dos agentes das cadeias agropecuárias brasileiras.

Em particular, destaca-se a produção de café brasileira: o Brasil é o maior produtor mundial, totalizando cerca de 49,2 milhões de sacas produzidas, aproximadamente 37% do total mundial, em 2011. Em adição, as exportações de café registraram cerca de US\$ 8,7 bilhões, equivalentes a 9,2% do total exportado pelo agronegócio doméstico, com *market-share* de 28,3% das exportações totais mundiais no período (USDA, 2011; MAPA, 2012). Em adição, a cultura do café articulou um fator relevante para a evolução econômica do país (DELFIN NETO, 1973; BACHA, 1992).

Porém, pesquisas identificaram o aumento da concorrência internacional no mercado de café, destacando o crescimento da participação do Vietnã, impactando a posição do Brasil (NISHIJIMA; SAES; POSTALI, 2012). Também, os mercados à vista de café traduziram forte variabilidade de preços e quantidade produzida, com elevados riscos para os países produtores (OUATARA; SCHROEDER; SORENSON, 1990).

Assim, enunciam-se as condições para o uso de instrumentos eficientes de administração de risco dos preços do café do Brasil, destacadamente os contratos futuros de café da

BM&FBOVESPA. Em adição, os contratos futuros de café podem ser usados pelos produtores e processadores em estratégias de *hedge* de risco de preço, bem como para a descoberta de preços e previsão de volatilidade futura. Os resultados podem ser empregados nas fases da cadeia de oferta da *commodity*, como, por exemplo, no processo de previsão de preços, na calibração das taxas de *hedge*, nas projeções de fluxo de caixa, na administração de estoques e nas decisões de alavancagem financeira e comercialização.

Portanto, a questão de pesquisa deste estudo é avaliar a eficiência das estratégias de *hedge* do risco de preço do café do Brasil, nas regiões de Mogiana (SP), Planalto (SP), Cerrado (MG), Sul de Minas (MG), Zona da Mata (MG) e Noroeste (PR) com o uso dos contratos futuros da BM&FBOVESPA.

Em termos específicos, objetiva-se calcular as taxas de *hedge* do risco de preço do café do Brasil com o uso de contratos futuros da BM&FBOVESPA, aplicando as estratégias sem *hedge*, *hedge* simples (*naïve*), *hedge* estático e *hedge* dinâmico. A seguir, comparar os resultados para identificar a estratégia de *hedge* mais eficiente para mitigar o risco de preço do café das diferentes regiões produtoras brasileiras. Os resultados podem ser aplicados em decisões dos agentes da cadeia de oferta de café nas diversas regiões produtoras do Brasil.

O trabalho divide-se em quatro seções. A próxima seção registra a revisão de literatura. A seguir, explicam-se a metodologia e os dados usados. A seção seguinte registra os resultados e discussão. Por último, resumem-se as principais conclusões do estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Dada a importância do *hedge* para os mercados futuros, diversos pesquisadores acadêmicos e práticos demonstraram interesse no tema. Adicionalmente, um foco relevante das pesquisas é a determinação da taxa ótima de *hedge*, existindo vários modelos explicativos. Registram-se o *hedge* de mínima variância, a avaliação de risco e retorno esperado do portfólio com *hedge* e os modelos de *hedge* dinâmico, entre os principais (CHEN; LEE; SHRESTHA, 2003).

Johnson (1960) destacou que a efetividade do *hedge* seria mais elevada, quanto maior fosse a correlação subjetiva dos preços à vista e futuros. Adicionalmente, o *hedge* puro seria uma combinação de posição à vista, com expectativa de lucratividade, e futura, para minimizar o risco dos preços à vista.

Stein (1961), aplicando o arcabouço de média-variância, formulou uma técnica para a determinação simultânea dos preços à vista e futuros de *commodities*, explicando os estoques com *hedge* e a fração sem *hedge*. Registrou que os fatores determinantes para *hedge* eram as variações dos preços à vista e futuros resultantes do excesso de oferta da produção do período atual e variações das expectativas dos preços.

Collins (1997) comparou o comportamento previsto nos modelos com a evidência das operações de *hedge*. Concluiu que a evidência apontava para o *hedge* simples por parte dos arbitranes e intermediários e o *hedge* parcial pelos processadores, enquanto os produtores raramente usavam *hedge*.

Por sua vez, Ederington (1979) formulou modelo para o *hedge* ótimo, a partir da diferença entre os preços à vista e futuros, usando o arcabouço de média-variância. Dessa forma, a taxa de *hedge* ótimo, de variância mínima num portfólio sintético bivariado com posições à vista e futura, poderia ser calculada pela minimização da variância total do portfólio em relação ao quociente de *hedge*. Estimou que um produtor de trigo que mantivesse 74% do estoque com *hedge* reduziria o risco de preço em 84%.

Também, destaca-se que Karp (1987) foi o primeiro autor a avaliar o *hedge* ótimo para *commodities* agropecuárias sob condições dinâmicas, incluindo a incerteza da produção, aplicando a teoria de controle. Concluiu que o *hedge* dinâmico era mais eficiente do que o *hedge* de variância mínima.

Por seu turno, Myers e Thompson (1989) esquematizaram um arcabouço generalizado para estimação da taxa de *hedge* ótimo, apontando técnicas de mínimos quadrados ordinários em única equação. Adicionalmente, exemplificaram com o *hedge* de milho, soja e trigo, apontando que as regressões nos níveis dos preços eram inadequadas, enquanto a regressão simples nas primeiras diferenças resultava em valores próximos ao modelo generalizado. A pesquisa sancionou em definitivo o uso de primeiras diferenças como o método mais eficiente e útil para o cálculo da taxa de *hedge* ótimo.

Baillie e Myers (1991) examinaram a distribuição dos preços à vista e futuros para seis *commodities*, calculando a taxa de *hedge* ótimo com o uso de modelo GARCH (*Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*) bivariado, aplicando as estimativas da matriz de covariância condicional dinâmica no tempo entre os preços à vista e futuros. Assim, as taxas de *hedge* ótimo variavam no tempo. A eficiência do *hedge* dinâmico foi maior, em termos de redução da variância dos portfólios sintéticos com posições à vista e futuras.

Também usando modelagem GARCH, Kroner e Sultan (1993) calcularam as taxas de *hedge* dinâmico e convencional para portfólios com risco cambial, incluindo os custos de transação. Concluíram que o *hedge* dinâmico apresentava efetividade superior às demais estratégias de *hedge*, apontada pela redução da variância total do portfólio, apesar da inclusão dos custos transacionais.

Moschini e Myers (2002) compararam os modelos de *hedge* de mínima variância e dinâmico calculado pela metodologia GARCH-BEKK para o risco de preço do milho de Iowa (EUA), num horizonte semanal. Identificaram que o *hedge* ótimo dinâmico era mais eficiente, uma vez que incorporava a dinâmica temporal dos preços, a qual não poderia ser explicada apenas pelos efeitos de sazonalidade e vencimento.

Por seu turno, Lien e Yang (2008) examinaram os efeitos do comportamento assimétrico da base sobre a estrutura de variâncias e correlações dos preços à vista e futuros de dez *commodities*, analisando os impactos sobre o *hedge* dinâmico. Aplicando modelagem BGARCH para o cálculo dos quocientes de *hedge* dinâmico ótimo, registraram que o impacto da base positiva era maior do que o da negativa e a incorporação do efeito assimétrico da base aumentava a eficiência do *hedge*.

Também, Chang, McAleer e Tansuchat (2011) compararam a efetividade de *hedge* dos modelos dinâmicos da família GARCH, CCC, VARMA-GARCH, DCC, BEKK e BEKK diagonal, para portfólios com posições combinadas nos mercados à vista e futuros de petróleo. Concluíram que os resultados de efetividade de *hedge* variavam por tipo de modelo e mercado analisado, com os resultados mais baixos calculados pelo modelo BEKK diagonal.

Shi e Irwin (2005) desenvolveram um modelo empírico de *hedge* ótimo bayesiano, que apontava a estimação paramétrica de risco num arcabouço teórico e quantitativo para examinar as avaliações subjetivas com consensos individuais e de mercado para calcular a taxa de *hedge* ótimo. Aplicou-se a modelagem bayesiana ao milho, resultando em flexibilidade do número e do tipo de óticas subjetivas.

De forma análoga, Bitencourt, Silva e Sáfadi (2006) compararam os modelos de variância mínima e GARCH-BEKK bivariado para o boi gordo no Brasil. Concluíram que a taxa de *hedge* ótimo variava no tempo, apontando que o uso dos modelos dinâmicos resultou numa efetividade de *hedge* superior. Lazzarini (2010) avaliou modelos de *hedge* dinâmico para boi gordo, incluindo os períodos de safra e entressafra. Concluiu que o modelo de correlação condicional dinâmica (DCC) apontou a melhor efetividade e que a taxa de *hedge* ótimo na entressafra não era superior à da safra.

Silveira (2002) avaliou o *hedge* próprio para boi gordo e *cross-hedge* entre bezerro e boi gordo em São Paulo, com o uso de contratos futuros da BM&FBOVESPA, aplicando a metodologia de Myers e Thompson (1989). Concluiu que as taxas de *hedge* ótimo eram elevadas, entretanto a efetividade do *cross-hedge* foi baixa, enquanto o *hedge* próprio apresentou efetividade em torno de 50%.

Rosalem, Gomes e Oliveira (2008) analisaram o comportamento da base em cinco regiões criadoras de boi gordo no Brasil, relativamente aos contratos futuros da BM&FBOVESPA com diferentes vencimentos. Destacaram períodos ideais para operar o *hedge* estático de compra e venda.

Em adição, Souza, Martines-Filho e Marques (2011) avaliaram a estratégia de *hedge* simultâneo do risco de preço e de câmbio para a soja do Centro-Oeste, usando contratos da BM&FBOVESPA. Concluíram que o *hedge* simultâneo registrava a maior efetividade comparada ao *hedge* simples e *hedge* isolado de preços. Martins e Aguiar (2004) avaliaram a efetividade de *hedge* para a soja brasileira de diferentes regiões dos contratos futuros da CBOT com diferentes vencimentos. Apontaram que os contratos com vencimento no segundo semestre eram mais eficientes, em particular os de julho e agosto.

Silva, Aguiar e Lima (2003) avaliaram a efetividade de *hedge* para o complexo de soja brasileiro na CBOT e BM&FBOVESPA. Concluíram que os contratos futuros de soja da BM&FBOVESPA registravam estratégias de *cross-hedge* para óleo e farelo de soja com baixa eficiência. Entretanto, o *hedge* do óleo e farelo de soja era vantajoso usando-se os contratos análogos da CBOT. Adicionalmente, a efetividade de *hedge* para a soja em grão foi mais eficiente na BM&FBOVESPA.

Maia e Aguiar (2010) avaliaram o risco e retorno de estratégias de *hedge* usando contratos da CBOT para as principais regiões produtoras de soja do Brasil. Concluíram que as bases apresentaram padrão bem definido, fortalecendo-se entre maio e novembro, seguido por subsequente enfraquecimento. Também, os *hedgers* de compra detinham oportunidades de maiores retornos brutos, porém com riscos mais elevados. Adicionalmente, apontaram que os contratos de soja da CBOT demonstraram retornos brutos diferenciados devido ao tipo de *hedge*, ao horizonte de *hedge* e ao vencimento do contrato.

Também, Souza e Caldarelli (2011) analisaram a efetividade de *hedge* para a soja do Centro-Oeste aplicando modelos de variância mínima e dinâmico GARCH-BEKK. Destacaram que a efetividade de *hedge* do modelo dinâmico foi superior, melhorando a capacidade alocativa dos agentes da cadeia de soja e possibilitando decisões mais eficientes de produção, comercialização e armazenagem.

Souza et al. (2011) estimaram o grau de eficiência do *cross-hedge* do risco de preços de frango usando contratos futuros de milho da BM&FBOVESPA. Apontaram que a eficiência do *cross-hedge* era baixa, podendo ser atribuída à baixa correlação entre os preços devido a estruturas microeconômicas distintas, como a sazonalidade das vendas, a formação de estoques, a distribuição do ano-safra e as condições de abate do plantel de aves. Entretanto, devido à relevância econômica da indústria de frango do Brasil, seria estratégico examinar a viabilidade para implantação de um contrato futuro nacional para a *commodity*.

Em particular, com relação ao café, Ouattara, Schroeder e Sorenson (1990) avaliaram o *hedge* ótimo para o café exportado da Costa do Marfim, usando modelo de média-variância com utilidade esperada. Concluíram que os ganhos de exportação poderiam ser estabilizados com o uso de contratos futuros de café.

Mohan (2007) estimou o custo e benefício de estratégias de *hedge* de risco de preço de café usando opções de venda sobre contratos futuros de Londres e Nova Iorque, calculando o retorno de operações com as opções. Destacou que os custos das estratégias de *hedge* com opções de venda eram relativamente baixos em relação aos preços, sublinhando a viabilidade das operações.

Gemech et al. (2011) avaliaram a alocação eficiente de recursos na produção de café usando contratos futuros e de opções para gerenciar o risco de preços. Apontaram que os benefícios do uso de mecanismos de mercado para mitigação de risco do preço do café eram elevados, apesar da forte aversão ao risco dos produtores. Entretanto, permanecia o desafio de disponibilizar o acesso aos mecanismos para os pequenos produtores de regiões em desenvolvimento.

Especificamente para o café do Brasil, Fileni, Marques e Machado (1999) avaliaram o *hedge* de risco de preços de café em Minas Gerais, examinando o risco de base e a efetividade de *hedge* dos contratos futuros de café da BM&FBOVESPA. Concluíram que o risco de base entre as principais regiões produtoras era semelhante, proporcionando significativa redução do risco de preço. Entretanto, o risco de base entre os meses foi significativamente diferente, apontando a necessidade de escolha do mês de vencimento do contrato. Adicionalmente, o *hedge* antecipatório registrou eficiência para um período de duração de três meses.

Harzer et al. (2012) examinaram a forma fraca de eficiência do mercado futuro brasileiro de café arábica, usando o método de cointegração, identificando se os preços futuros eram estimadores não viesados dos preços à vista esperados para o futuro. Destacaram que o mercado futuro brasileiro do café arábica apontava indícios estatísticos de não eficiência, bem como viés de existência de um prêmio de risco.

Também, Müller (2007) comparou a efetividade de estratégias de *hedge* para o mercado futuro de café arábica no Brasil. Concluiu que o *hedge* dinâmico registrou a maior efetividade, mensurada pela redução da variância dos preços.

Em particular, Pimenta et al. (2011) analisaram a estrutura cognitiva de valores de consumidores em relação a marcas regionais de café na região de Lavras (MG), usando a Cadeia de Meios-Fim, em conjunto com a técnica *laddering*. Concluíram que existia relação entre a marca regional e a determinação de compra. Valores pessoais registravam-se nas marcas regionais, em particular os atributos “regional”, “características sensoriais”, “pureza do alimento” e “preço mais baixo”.

Em resumo, as pesquisas acadêmicas validam o uso dos mercados futuros para gerenciamento do risco dos preços agropecuários. Embora o risco dos preços agropecuários, as estratégias de *hedge*, a previsão de base e volatilidade e as operações especulativas sejam temas sistematicamente pesquisados na literatura internacional, no Brasil o conjunto de temas é inexplorado. Para o setor cafeeiro brasileiro, em especial, destacam-se poucas pesquisas aplicadas sobre as questões.

Nessa linha, a contribuição inédita do artigo é avaliar a eficiência das estratégias de *hedge* do risco de preço do café do Brasil, nas regiões de Mogiana (SP), Planalto (SP), Cerrado (MG), Sul de Minas (MG), Zona da Mata (MG) e Noroeste (PR) com o uso dos contratos futuros da BM&FBOVESPA. Os resultados poderão servir como *inputs* estratégicos para os administradores de risco da cadeia de café do Brasil.

3 METODOLOGIA E DADOS

Descrevem-se as etapas metodológicas e dados usados na pesquisa, a qual se define por (BOOTH; COLOMB; WILLIAMS, 2008, p. 317):

- i. quanto aos objetivos: exploratória, caracterizando uma população, fenômeno ou relações entre as variáveis com coletas de dados; delimitam-se técnicas, métodos, modelos, teorias, objetivos, termos, variáveis, hipóteses e questões de pesquisa;
- ii. quanto aos procedimentos: bibliográfica e experimental, baseada em referenciais teóricos publicados em documentos, realizada independentemente ou como parte da pesquisa descritiva ou experimental, estudando variáveis independentes;
- iii. abordagem da questão de pesquisa: qualitativa e quantitativa, coletando e examinando os dados para estimar o tema pesquisado.

Assim, para apreciar os objetivos específicos, objetiva-se calcular as taxas de *hedge* do risco de preço do café do Brasil com o uso de contratos futuros da BM&FBOVESPA, aplicando as estratégias sem *hedge*, *hedge* simples (*naïve*), *hedge* estático e *hedge* dinâmico.

A seguir, comparam-se os resultados para identificar a estratégia de *hedge* mais eficiente para mitigar o risco de preço do café das diferentes regiões produtoras brasileiras. Examinou-se a efetividade de estratégias de *hedge* do risco dos preços do café do Brasil usando os contratos futuros da BM&FBOVESPA em etapas definidas sequencialmente.

A primeira foi a construção de portfólios sintéticos bivariados com posições à vista e futuras. Na segunda, calculou-se a efetividade do *hedge* simples (*naïve*). A seguir, investigou-se a efetividade do *hedge* estático de variância mínima. Por último, registrou-se a efetividade do *hedge* dinâmico pelo modelo GARCH-BEKK, comparando-se a efetividade dos modelos de *hedge* avaliados.

3.1 Construção de portfólios sintéticos com posições à vista e futuras

Para analisar a efetividade de *hedge*, examinaram-se portfólios sintéticos compostos de dois ativos, a posição à vista e em contratos futuros de café. Conforme Leuthold, Junkus e Cordier (1989), o retorno esperado de um portfólio de dois ativos, com posições nos mercados à vista e futuros, pode ser expresso pela Equação 1:

$$E(\tilde{R}_p) = X_s E(\tilde{R}_s) + X_f E(\tilde{R}_f) \quad (1)$$

Onde:

X_s = valor da posição à vista

X_f = valor da posição em futuros

$E(\tilde{R}_s)$ = retorno esperado da posição à vista, ou seja, diferença entre os preços à vista no momento inicial e a data de vencimento dos contratos futuros

$E(\tilde{R}_f)$ = retorno esperado da posição com contratos futuros, ou seja, diferença entre os preços futuros no momento inicial e a data de vencimento dos contratos futuros

O risco financeiro de carregamento das posições pode ser expresso como a variância total do retorno do portfólio sintético, $V(\tilde{R}_p)$:

$$V(\tilde{R}_p) = X_s^2 s_s^2 + X_f^2 s_f^2 + 2X_s X_f s_{sf} \quad (2)$$

Onde:

s_s^2 = variância dos retornos à vista (variação de preço)

s_f^2 = variância dos retornos futuros (variação de preço)

s_{sf} = covariância entre as variações dos preços à vista e futuros (retornos)

Dessa maneira, para comparar a efetividade de *hedge*, analisaram-se quatro portfólios. O primeiro, sem *hedge*, equivale a uma posição nula em contratos futuros. A variância total do retorno do portfólio sem *hedge* serviu de parâmetro comparativo para a avaliação dos demais modelos de *hedge*.

3.2 O modelo de *hedge* simples (*naïve*)

O segundo modelo, de *hedge* simples (*naïve*), corresponde a uma posição em contratos futuros para cada posição à vista, ou seja, a posição futura iguala a posição à vista, em sentido contrário, sem variação temporal, implicando em $X_s = -X_f = c$, na Equação 3:

$$E(\tilde{R}_p) = c[E(\tilde{R}_s) - E(\tilde{R}_f)] \quad (3)$$

Assim, a estratégia de *hedge* simples (*naïve*) equivale à exposição exclusiva ao risco de base. Para o portfólio sintético com *hedge* simples (*naïve*), tem-se que a variância total será dada pela Equação 4:

$$V(\tilde{R}_p) = c^2[s_s^2 + s_f^2 - 2s_{sf}] \quad (4)$$

A Equação 4 registra a variância total do portfólio sintético com *hedge* simples, idêntica à variância da base.

3.3 O modelo de *hedge* ótimo de mínima variância estático

Conforme Leuthold, Junkus e Cordier (1989), a partir da minimização da Equação 2 em relação a X_f , obtém-se a taxa de *hedge* de risco mínimo, X_f^* , definida por:

$$X_f^* = -X_s \frac{s_{sf}}{s_f^2} \quad (5)$$

Expressando a Equação 5 em termos relativizados, toma-se $X_s = 1$ e $\beta = -X_f/X_s$. Assim, β^* , o *hedge* ótimo, de variância mínima, pode ser expresso como:

$$\beta^* = \frac{s_{sf}}{s_f^2} \quad (6)$$

O valor de β^* pode ser estimado pela regressão:

$$\Delta S_t = \alpha + \beta \Delta F_t \quad (7)$$

Onde:

S_t = preços no mercado à vista

F_t = preços no mercado futuro

α, β = parâmetros a estimar

Δ = primeira diferença dos preços

Assim, o risco mínimo obtido é a variância do portfólio sintético quando $\beta = \beta^*$. As Equações 6 e 7 possibilitam o cálculo do *hedge* de variância mínima, β^* , amplamente usado, de forma fácil e acessível.

Entretanto, aponta-se que β^* registra um valor fixo e constante para a posição de *hedge* em contratos futuros, embora a estrutura de variâncias e covariâncias possa se alterar ao longo do tempo, impactando o valor do *hedge* ótimo, de variância mínima, dado pela Equação 6. Assim, para examinar a efetividade do *hedge* num contexto temporal dinâmico, aplicam-se os modelos de *hedge* dinâmico.

3.4 O modelo GARCH-BEKK de *hedge* ótimo de mínima variância dinâmico

As variâncias das séries de preços agropecuários não registram valores constantes ao longo do tempo, apresentando agrupamento de volatilidades (MCKENZIE; HOLT, 2002). Portanto, qualquer estimativa realista de taxas de *hedge* para séries de preços agropecuários deve examinar a propriedade estatística. Assim, usou-se o teste de White (1980) nas séries de preços à vista e futuros do café do Brasil para identificar a presença de heterocedasticia, apontando o agrupamento de volatilidade dos preços.

Em seguida, para calcular as taxas de *hedge* num contexto temporal dinâmico, com agrupamento de volatilidade, usam-se os modelos da família GARCH. As especificações da modelagem GARCH calculam a previsão da variância condicional como uma média ponderada da variância média de longo prazo, da previsão atual e do novo conjunto informacional para o período presente capturado pelo erro quadrado mais recente (BOLLERSLEV, 1986; ENGLE, 2001).

Os modelos da família GARCH são largamente usados na literatura financeira e de preços agropecuários. Uma das abordagens mais aplicadas para cálculo de taxas de *hedge* dinâmico é o modelo GARCH-BEKK (ENGLE; KRONER, 1995). O modelo GARCH-BEKK é um modelo multivariado, no qual a matriz de covariâncias condicionais H_t , dado o conjunto informacional disponível no período t , pode ser expressa por:

$$e_t = H_t^{1/2} \eta_t, \quad (8)$$

$$H_t = C'C + \sum_{i=1}^q A_i' e_{t-i} e_{t-i}' A_i + \sum_{j=1}^p B_j' H_{t-j} B_j \quad (9)$$

Onde:

C , A e B = matrizes ($k \times k$) de parâmetros, com $k = 2$ no caso bivariado

C = uma matriz triangular superior

p e q = ordens do modelo

k = número de séries usadas

O modelo GARCH-BEKK possui uma particularidade na especificação, as configurações generalizadas, que permitem impactos cruzados entre as variâncias e covariâncias das variáveis, sem necessitar estimar um grande número de parâmetros, ou seja, é mais parcimonioso do que outros modelos dinâmicos da família GARCH. Assim, para o modelo GARCH-BEKK, a taxa de *hedge* dinâmico ótimo pode ser calculada pela Equação 10:

$$\beta^*_t = Cov(\Delta S_t, \Delta F_t | \Omega_{t-1}) / Var(\Delta F_t | \Omega_{t-1}) \quad (10)$$

Onde:

β^*_t = taxa de *hedge* dinâmico (ótimo)

S = preços no mercado à vista

F = preços no mercado futuro

Δ = primeira diferença dos preços

Ω_{t-1} = conjunto informacional no período $t-1$

O modelo GARCH-BEKK calcula um vetor de taxas ótimas de *hedge* empregando a matriz de covariância condicional H_t :

$$b_t^* = h_{2,t} / h_{1,t} \quad (11)$$

Onde:

$h_{ij,t}$ = elemento da i -ésima linha e j -ésima coluna da matriz de coVaRiância condicional, H_t . Assim, num modelo bivariado, a taxa de *hedge* ótimo, β^*t , dadas as séries de preços à vista e futuros, pode ser calculada com H_t e a sua representação matricial será:

$$\begin{bmatrix} h_{1,t} & h_{2,t} \\ h_{2,t} & h_{2,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 & 0 \\ c_2 & c_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 & c_2 \\ 0 & c_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_2 & a_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{1,t-1}^2 & e_{1,t-1}e_{2,t-1} \\ e_{2,t-1}e_{1,t-1} & e_{2,t-1}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_2 & a_2 \end{bmatrix} + \\ \begin{bmatrix} b_1 & b_2 \\ b_2 & b_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{1,t-1} & h_{2,t-1} \\ h_{2,t-1} & h_{2,t-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 & b_2 \\ b_2 & b_2 \end{bmatrix}$$

3.5 Cálculo da efetividade de *hedge*

A medida de efetividade de *hedge*, E^* , é definida como o percentual de redução da Variância do portfólio sintético (LEUTHOLD; JUNKUS; CORDIER, 1989), ou seja:

$$E^* = \frac{Var(S) - Var(R^*)}{Var(S)} = 1 - \frac{Var(R^*)}{Var(S)} \quad (12)$$

Onde:

$Var(R^*)$ = variância do portfólio sintético de risco mínimo, com *hedge* de variância mínima ou dinâmico

$Var(S)$ = variância do portfólio sem *hedge*

Dessa forma, supondo $X_s = 1$ e substituindo a Equação 6 na Equação 2, obtém-se a variância do portfólio sintético com posição de *hedge* ótimo, de variância mínima ou dinâmico:

$$Var(R^*) = s_s^2 - \frac{s_f^2}{s_f} \quad (13)$$

Substituindo a Equação 13 na Equação 12:

$$E^* = \frac{s_f^2}{s_s^2 s_f^2} \quad (14)$$

Assim, a Equação 14 aponta a medida de efetividade de *hedge*, E^* , que é o próprio coeficiente de determinação ou R^2 , da regressão expressa pela Equação 7. Dessa maneira, a efetividade de *hedge* registra a redução da variância do portfólio sintético com posição de *hedge* como proporção da variância total da posição sem *hedge*.

Em suma, calculou-se a efetividade de *hedge* para portfólios sem *hedge*, com *hedge* simples (*naïve*), *hedge* estático de variância mínima e *hedge* dinâmico pelo método GARCH-BEKK.

3.6 Dados

Usaram-se as séries de preços semanais de café em US\$/saca de 60 kg:

i. dos mercados à vista de Mogiana (SP), Paulista (SP), Cerrado (MG), Sul de Minas (MG), Zona da Mata (MG) e Noroeste (PR) (fonte: Insper, 2013). Em adição, formulou-se a amostragem de praças como *proxy* dos principais mercados das regiões produtoras de café do Brasil de forma não probabilística por conveniência e acessibilidade dos dados de preços;

ii. dos contratos futuros de café da BM&FBOVESPA (fonte: Insper, 2013).

O período analisado foi de 03 de outubro de 2005 a 24 de setembro de 2012, escolhido de forma não probabilística, por acessibilidade e conveniência. Justifica-se a escolha do período pela acessibilidade dos dados, bem como pela inclusão da crise financeira do *subprime* em 2008, alterando os níveis e a volatilidade dos preços das *commodities* (EUROPEAN COMMISSION, 2009). Para ilustrar, registram-se no Quadro 1 as especificações do contrato futuro de café da BM&FBOVESPA:

Quadro 1 – Especificações dos contratos futuros de café (BM&BBOVESPA e ICE)

Especificação	BM&FBOVESPA
Commodity	Café cru, em grão, de produção brasileira, <i>coffea arabica</i> , tipo 4-25 (4/5) ou melhor, bebida dura ou melhor, para entrega no município de São Paulo, SP, Brasil
Cotação	Dólares dos Estados Unidos por saca de 60 kg líquidos
Unidade de negociação	100 sacas de 60 kg líquidos ou 6.000 kg líquidos
Meses de vencimento	Março, maio, julho, setembro e dezembro
Vencimento e último dia de negociação	6º dia útil anterior ao último dia do mês do vencimento do contrato
Local de entrega e preço de referência	Armazéns credenciados pela BM&FBOVESPA. No caso de entrega em localidade diferente do município de São Paulo (SP), haverá dedução do custo de frete para apuração do valor de liquidação
Liquidação	Entrega física

Fonte: BM&FBOVESPA (2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seção esquematiza os resultados das pesquisas, empregando o referencial da seção de metodologia e dados.

Na primeira etapa, examinou-se a existência de heterocedasticidade dos preços do café em Mogiana (SP), Planalto (SP), Cerrado (MG), Sul de Minas (MG), Zona da Mata (MG) e Noroeste (PR) com o teste de White (1980), com resultados apontados na Tabela 1.

Tabela 1 – Teste de heterocedasticidade de White (1980). Primeira diferença dos preços à vista do café em Mogiana (SP), Planalto (SP), Cerrado (MG), Sul de Minas (MG), Zona da Mata (MG) e Noroeste (PR). Período: 03.10.2005 a 24.09.2012, referência semanal. Em dólares por saca de 60 kg

Praça	Estatística	Valor
Mogiana (SP)	R ² observado	8,080489
	Prob. Chi-Quadrado(2)	0,0176
Planalto (SP)	R ² observado	21,78853
	Prob. Chi-Quadrado(2)	0,0000
Cerrado (MG)	R ² observado	7,019176
	Prob. Chi-Quadrado(2)	0,0299
Sul de Minas (MG)	R ² observado	9,186655
	Prob. Chi-Quadrado(2)	0,0101
Zona da Mata (MG)	R ² observado	14,52679
	Prob. Chi-Quadrado(2)	0,0007
Noroeste (PR)	R ² observado	16,92258
	Prob. Chi-Quadrado(2)	0,0002

Fonte: elaborada pelos autores com os dados da pesquisa.

O resultado da Tabela 1 identificou a existência de heterocedasticidade nas séries das primeiras diferenças do preço do café em Mogiana (SP), Planalto (SP), Cerrado (MG), Sul de Minas (MG), Zona da Mata (MG) e Noroeste (PR). Dessa forma, usou-se o modelo de *hedge* dinâmico GARCH-BEKK para calcular as taxas de *hedge* ótimo semanais. Os parâmetros dos modelos GARCH-BEKK diagonal estão relatados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros do modelo GARCH-BEKK diagonal. *Hedge* dinâmico do risco de preço do café. Valores em primeiras diferenças dos preços à vista do café em Mogiana (SP), Planalto (SP), Cerrado (MG), Sul de Minas (MG), Zona da Mata (MG), Noroeste (PR) e futuros da BM&FBOVESPA. Período: 03.10.2005 a 24.09.2012, referência semanal

Praça		Coefficiente	Erro-padrão	Prob.
Planalto (SP)	M(1,1)	1,059651	0,389151	0,0065
	M(1,2)	0,752896	0,294160	0,0105
	M(2,2)	1,094395	0,368438	0,0030
	A1(1,1)	0,307312	0,039160	0,0000
	A1(2,2)	0,247429	0,030842	0,0000
	B1(1,1)	0,939225	0,012134	0,0000
	B1(2,2)	0,957549	0,008676	0,0000
Mogiana (SP)	M(1,1)	0,903491	0,308174	0,0037
	M(1,2)	0,755643	0,259221	0,0049
	M(2,2)	1,348767	0,458354	0,0088
	A1(1,1)	0,254258	0,029827	0,0000
	A1(2,2)	0,269777	0,035161	0,0000
	B1(1,1)	0,956025	0,008451	0,0000
	B1(2,2)	0,950206	0,011756	0,0000

Praça		Coefficiente	Erro-padrão	Prob.
Cerrado (MG)	M(1,1)	1.394474	0.520001	0.0073
	M(1,2)	0.88926	0.311865	0.0044
	M(2,2)	1.106289	0.38684	0.0042
	A1(1,1)	0.28942	0.035096	0,0000
	A1(2,2)	0.279598	0.034306	0,0000
	B1(1,1)	0.944192	0.012047	0,0000
	B1(2,2)	0.946511	0.011226	0,0000
Sul de Minas (MG)	M(1,1)	0,839678	0,291841	0.0038
	M(1,2)	0,704486	0,246839	0.0063
	M(2,2)	1,162753	0,439389	0.0134
	A1(1,1)	0,286058	0,030570	0,0000
	A1(2,2)	0,270149	0,035006	0,0000
	B1(1,1)	0,949223	0,008595	0,0000
	B1(2,2)	0,952519	0,011469	0,0000
Zona da Mata (MG)	M(1,1)	1,077323	0,430854	0.0129
	M(1,2)	0,818973	0,342139	0.0196
	M(2,2)	1,214276	0,451584	0.0133
	A1(1,1)	0,340097	0,036953	0,0000
	A1(2,2)	0,278345	0,035853	0,0000
	B1(1,1)	0,929976	0,013303	0,0000
	B1(2,2)	0,949220	0,010780	0,0000
Noroeste (PR)	M(1,1)	0,846587	0,356987	0.0183
	M(1,2)	0,788586	0,296874	0.0095
	M(2,2)	1,172123	0,372482	0.0024
	A1(1,1)	0,366184	0,032769	0,0000
	A1(2,2)	0,258387	0,033706	0,0000
	B1(1,1)	0,922800	0,011779	0,0000
	B1(2,2)	0,954189	0,009336	0,0000

Fonte: elaborada pelos autores com os dados da pesquisa.

Os resultados da Tabela 2 foram aplicados para calcular as taxas ótimas de *hedge* dinâmico semanal. Compararam-se as taxas ótimas de *hedge* dinâmico com as estratégias sem *hedge*, *hedge* simples (*naïve*) e *hedge* estático, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação das variâncias semanais e graus de eficiência de estratégias de *hedge* do risco de preço do café em Mogiana (SP), Planalto (SP), Cerrado (MG), Sul de Minas (MG), Zona da Mata (MG), Noroeste (PR) e futuros da BM&FBOVESPA. Período: 03.10.2005 a 24.09.2012, referência semanal

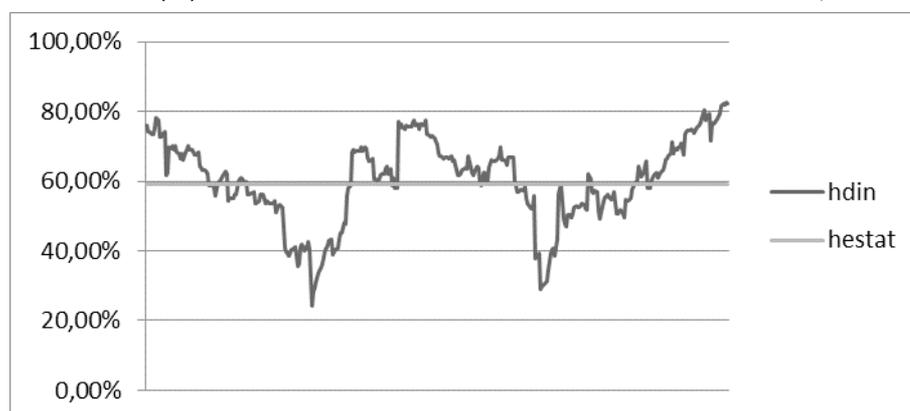
	Estratégia	Variância semanal	Grau de eficiência
Planalto (SP)	Sem <i>hedge</i>	37,60	-
	<i>Hedge</i> simples	25,66	-31,7%
	<i>Hedge</i> estático	14,52	-61,4%
	<i>Hedge</i> dinâmico	14,58	-61,2%

Mogiana (SP)	Sem <i>hedge</i>	44,19	-
	<i>Hedge</i> simples	24,54	-44,5%
	<i>Hedge</i> estático	16,34	-63,0%
	<i>Hedge</i> dinâmico	16,46	-62,8%
Cerrado (MG)	Sem <i>hedge</i>	43,93	-
	<i>Hedge</i> simples	23,50	-46,5%
	<i>Hedge</i> estático	15,57	-64,6%
	<i>Hedge</i> dinâmico	15,55	-64,6%
Sul de Minas (MG)	Sem <i>hedge</i>	43,04	-
	<i>Hedge</i> simples	23,27	-45,9%
	<i>Hedge</i> estático	15,11	-64,9%
	<i>Hedge</i> dinâmico	15,48	-64,0%
Zona da Mata (MG)	Sem <i>hedge</i>	39,86	-
	<i>Hedge</i> simples	25,77	-35,4%
	<i>Hedge</i> estático	15,50	-61,1%
	<i>Hedge</i> dinâmico	15,59	-60,9%
Noroeste (PR)	Sem <i>hedge</i>	36,79	-
	<i>Hedge</i> simples	24,07	-34,6%
	<i>Hedge</i> estático	13,25	-64,0%
	<i>Hedge</i> dinâmico	13,36	-63,7%

Fonte: elaborada pelos autores com os dados da pesquisa.

A seguir, compuseram-se os gráficos comparativos das taxas ótimas de *hedge* estático e dinâmico em cada região produtora (Figuras 1 a 6).

Figura 1 – Comparativo das taxas ótimas de *hedge* dinâmico e estático. Valores em primeiras diferenças dos preços à vista do café em Planalto (SP) e futuros da BM&FBOVESPA. Período: 03.10.2005 a 24.09.2012, referência semanal



Fonte: elaborada pelos autores com os dados da pesquisa.

A análise visual da Figura 1 apontou a variação das taxas ótimas de *hedge* dinâmico dos preços semanais em Planalto (SP), com períodos com diferenças positivas e negativas, dependendo da estrutura dinâmica das covariâncias entre os preços à vista e futuros. No período mais recente, as taxas ótimas de *hedge* dinâmico foram superiores às do *hedge* estático, o qual, por hipótese, foi praticado no início do intervalo temporal analisado.

Em adição, pelos dados da Tabela 3, registraram-se diferentes graus de eficiência de estratégias de *hedge* do risco do preço do café em Planalto (SP) usando contratos futuros da BM&FBOVESPA. Assim, a estratégia de *hedge* simples resultou no menor grau de eficiência, enquanto o *hedge* estático apontou a maior redução da variância semanal, embora muito próxima da redução resultante do *hedge* dinâmico.

Figura 2 – Comparativo das taxas ótimas de *hedge* dinâmico e estático. Valores em primeiras diferenças dos preços à vista do café em Mogiana (SP) e futuros da BM&FBOVESPA. Período: 03.10.2005 a 24.09.2012, referência semanal

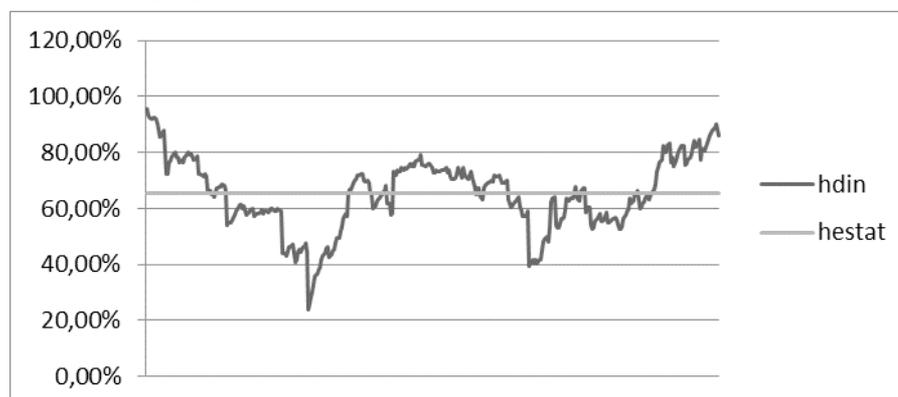


Fonte: elaborada pelos autores com os dados da pesquisa.

A análise visual da Figura 2 apontou a variação das taxas ótimas de *hedge* dinâmico dos preços semanais em Mogiana (SP), com períodos com diferenças positivas e negativas, dependendo da estrutura dinâmica das covariâncias entre os preços à vista e futuros. No período mais recente, as taxas ótimas de *hedge* dinâmico foram superiores às do *hedge* estático, o qual, por hipótese, foi praticado no início do intervalo temporal analisado.

Pelos dados da Tabela 3, registraram-se diferentes graus de eficiência de estratégias de *hedge* do risco do preço do café em Mogiana (SP) usando contratos futuros da BM&FBOVESPA. Analogamente ao resultado de Planalto (SP), a estratégia de *hedge* simples resultou no menor grau de eficiência, enquanto o *hedge* estático apontou a maior redução da variância semanal, embora muito próxima da redução resultante do *hedge* dinâmico.

Figura 3 – Comparativo das taxas ótimas de *hedge* dinâmico e estático. Valores em primeiras diferenças dos preços à vista do café em Cerrado (MG) e futuros da BM&FBOVESPA. Período: 03.10.2005 a 24.09.2012, referência semanal



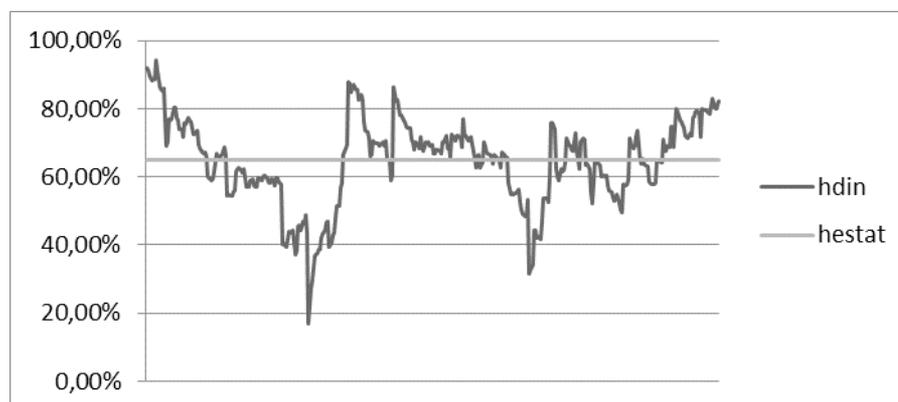
Fonte: elaborada pelo autor com os dados da pesquisa.

A análise visual da Figura 3 apontou a variação das taxas ótimas de *hedge* dinâmico dos preços semanais em Cerrado (MG), com períodos com diferenças positivas e negativas, dependendo da estrutura dinâmica das covariâncias entre os preços à vista e futuros. No período mais recente, as taxas ótimas de *hedge* dinâmico foram superiores às do *hedge* estático, o qual, por hipótese, foi praticado no início do intervalo temporal analisado.

Pelos dados da Tabela 3, registraram-se diferentes graus de eficiência de estratégias de *hedge* do risco do preço do café em Cerrado (MG) usando contratos futuros da BM&FBOVESPA.

Analogamente aos resultados de Planalto (SP) e Mogiana (SP), a estratégia de *hedge* simples resultou no menor grau de eficiência, enquanto o *hedge* estático apontou a maior redução da variância semanal, embora muito próxima da redução resultante do *hedge* dinâmico.

Figura 4 – Comparativo das taxas ótimas de *hedge* dinâmico e estático. Valores em primeiras diferenças dos preços à vista do café em Sul de Minas (MG) e futuros da BM&FBOVESPA. Período: 03.10.2005 a 24.09.2012, referência semanal

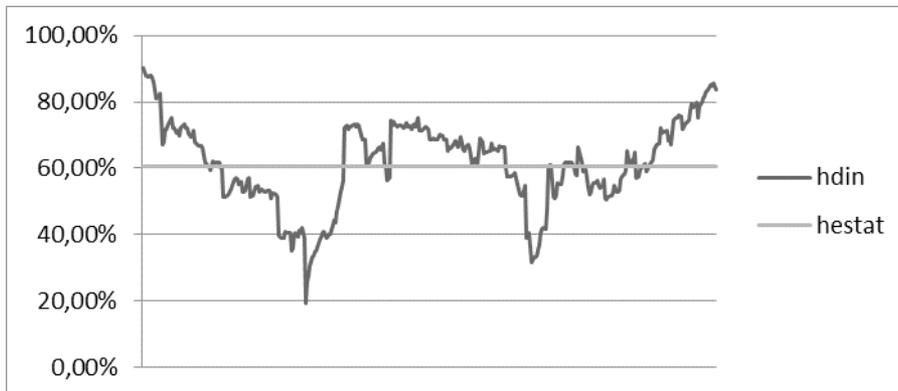


Fonte: elaborada pelos autores com os dados da pesquisa.

A análise visual da Figura 4 apontou a variação das taxas ótimas de *hedge* dinâmico dos preços semanais em Sul de Minas (MG), com períodos com diferenças positivas e negativas, dependendo da estrutura dinâmica das covariâncias entre os preços à vista e futuros. No período mais recente, as taxas ótimas de *hedge* dinâmico foram superiores às do *hedge* estático, o qual, por hipótese, foi praticado no início do intervalo temporal analisado.

Pelos dados da Tabela 3, registraram-se diferentes graus de eficiência de estratégias de *hedge* do risco do preço do café em Sul de Minas (MG) usando contratos futuros da BM&FBOVESPA. Analogamente aos resultados de Planalto (SP), Mogiana (SP) e Cerrado (MG), a estratégia de *hedge* simples resultou no menor grau de eficiência, enquanto o *hedge* estático apontou a maior redução da variância semanal, embora muito próxima da redução resultante do *hedge* dinâmico.

Figura 5 – Comparativo das taxas ótimas de *hedge* dinâmico e estático. Valores em primeiras diferenças dos preços à vista do café em Zona da Mata (MG) e futuros da BM&FBOVESPA. Período: 03.10.2005 a 24.09.12, referência semanal

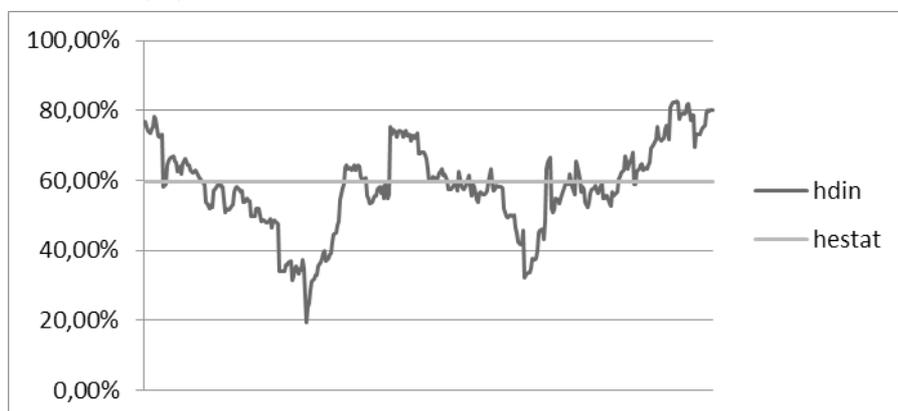


Fonte: elaborada pelos autores com os dados da pesquisa.

A análise visual da Figura 5 apontou a variação das taxas ótimas de *hedge* dinâmico dos preços semanais em Zona da Mata (MG), com períodos com diferenças positivas e negativas, dependendo da estrutura dinâmica das covariâncias entre os preços à vista e futuros. No período mais recente, as taxas ótimas de *hedge* dinâmico foram superiores às do *hedge* estático, o qual, por hipótese, foi praticado no início do intervalo temporal.

Pelos dados da Tabela 3, registraram-se diferentes graus de eficiência de estratégias de *hedge* do risco do preço do café em Zona da Mata (MG) usando contratos futuros da BM&FBOVESPA. Analogamente aos resultados de Planalto (SP), Mogiana (SP), Cerrado (MG) e Sul de Minas (MG), a estratégia de *hedge* simples resultou no menor grau de eficiência, enquanto o *hedge* estático apontou a maior redução da variância semanal, embora muito próxima da redução resultante do *hedge* dinâmico.

Figura 6 – Comparativo das taxas ótimas de *hedge* dinâmico e estático. Valores em primeiras diferenças dos preços à vista do café em Noroeste (PR) e futuros da BM&FBOVESPA. Período: 03.10.05 a 24.09.2012, referência semanal



Fonte: elaborada pelos autores com os dados da pesquisa.

A análise visual da Figura 6 apontou a variação das taxas ótimas de *hedge* dinâmico dos

preços semanais em Noroeste (PR), com períodos com diferenças positivas e negativas, dependendo da estrutura dinâmica das covariâncias entre os preços à vista e futuros. No período mais recente, as taxas ótimas de *hedge* dinâmico foram superiores às do *hedge* estático, o qual, por hipótese, foi praticado no início do intervalo temporal analisado.

Pelos dados da Tabela 3, registraram-se diferentes graus de eficiência de estratégias de *hedge* do risco do preço do café em Noroeste (PR) usando contratos futuros da BM&FBOVESPA. Analogamente aos resultados de Planalto (SP), Mogiana (SP), Cerrado (MG), Sul de Minas (MG) e Zona da Mata (MG), a estratégia de *hedge* simples resultou no menor grau de eficiência, enquanto o *hedge* estático apontou a maior redução da variância semanal, embora muito próxima da redução resultante do *hedge* dinâmico. Dessa forma, as operações de *hedge* reduziram o risco de preço semanal, sendo as maiores reduções resultantes da aplicação de modelos quantitativos para calcular as taxas ótimas de *hedge*.

Além disso, sublinha-se que a vantagem operacional do uso de modelos de *hedge* dinâmico, comparativamente ao modelo estático, traduz-se em taxas ótimas de *hedge* ajustadas à trajetória temporal da estrutura de covariâncias, que registrou a ocorrência de heterocedasticidade. Por seu turno, o modelo estático supõe que a operação de *hedge* ocorra em um único ponto no tempo, o que pode não arrolar as necessidades operacionais de gerenciamento de risco de preço dos agentes da cadeia de café do Brasil.

Também, a vantagem da aplicação do *hedge* dinâmico traduz-se em posições à vista e futuras em linha com a dinâmica da covariância entre os preços à vista e futuros e variância dos preços futuros. Assim, o *hedge* dinâmico pode reduzir os custos e despesas operacionais. Dessa forma, as operações de *hedge* reduziram o risco de preço semanal, sendo as maiores reduções resultantes da aplicação de modelos quantitativos para calcular as taxas ótimas de *hedge*.

Em resumo, os resultados de efetividade superior do *hedge* dinâmico alinharam-se com pesquisas internacionais e brasileiras. Em particular, registram-se resultados análogos aos de Kroner e Sultan (1993) para portfólios com risco cambial, Bitencourt, Silva e Sáfadi (2006) para o boi gordo no Brasil, Müller (2007) para o café brasileiro e Souza e Caldarelli (2011) para a soja do Brasil.

5 RESUMO E CONCLUSÕES

Objetivou-se avaliar a eficiência das estratégias de *hedge* do risco de preço do café do Brasil nas regiões de Mogiana (SP), Planalto (SP), Cerrado (MG), Sul de Minas (MG), Zona da Mata (MG) e Noroeste (PR), com o uso dos contratos futuros da BM&FBOVESPA. Assim, calcularam-se as taxas de *hedge* do risco de preço do café do Brasil com o uso de contratos futuros da BM&FBOVESPA, aplicando as estratégias sem *hedge*, *hedge* simples (*naïve*), *hedge* estático e *hedge* dinâmico. A seguir, compararam-se os resultados para identificar a estratégia de *hedge* mais eficiente para mitigar o risco.

Assim, objetivou-se avaliar aspectos operacionais de gerenciamento de risco dos preços do café brasileiro usando os contratos futuros domésticos. Os resultados podem ser aplicados em decisões dos agentes da cadeia de oferta de café nas diversas regiões produtoras do Brasil.

Em particular, examinou-se um tema específico, o uso do mercado futuro de café da BM&FBOVESPA para o gerenciamento de risco de preços. A pesquisa atualizou e particularizou análises de eficiência de estratégias de *hedge* para o risco de preços do café do Brasil, destacadamente incluindo o novo regime de preços e volatilidade prevalente após 2008, resultante da crise financeira do *subprime*.

Dessa forma, compuseram-se estratégias de *hedge* do risco dos preços regionais de café do país, comparando-se a eficiência de posições sem *hedge*, com *hedge* simples (*naïve*), com *hedge* ótimo estático e dinâmico GARCH-BEKK. Portanto, apesar dos resultados próximos

das eficiências das estratégias de *hedge* ótimo estático e dinâmico, o *hedge* dinâmico permite calibrar as posições dos portfólios no tempo, resultando em maior eficácia alocativa. O resultado de maior eficiência do *hedge* dinâmico do risco de preço regional do café do Brasil com contratos futuros da BM&FBOVESPA alinhou-se com outras pesquisas similares. Entretanto, a diferença foi a atualização do arcabouço analítico examinando o recente regime de preços do café.

Em resumo, os resultados da pesquisa atualizaram um tema relevante para o gerenciamento de risco de preço do café das regiões de Mogiana (SP), Planalto (SP), Cerrado (MG), Sul de Minas (MG), Zona da Mata (MG) e Noroeste (PR), bem como dos contratos futuros da BM&FBOVESPA. Os resultados podem ser aplicados em decisões dos agentes da cadeia de oferta de café nas diversas regiões produtoras do Brasil. Entretanto, como futura pesquisa, aponta-se a aplicação do arcabouço analítico para outras *commodities* agropecuárias brasileiras, identificando padrões e estratégias de *hedge*. Também, outras pesquisas futuras poderiam abordar a análise de sistemas operacionais (*trading systems*) nos preços futuros agropecuários brasileiros e o uso de *hedge* bayesiano.

REFERÊNCIAS

- BACHA, E. L. Política brasileira do café. In: Marcellino Martins & Johnston Exportadores (Ed.). **150 anos de café**. Rio de Janeiro: Mergulhar Serviços Editoriais, 1992. p. 15-122.
- BAILLIE, R. T.; MYERS, R. J. Bivariate Garch estimation of the optimal commodity futures hedge. **Journal of Applied Econometrics**, Malden, v. 6, n. 2, pp. 109-124, 1991.
- BITENCOURT, W. A.; SILVA, W. S.; SÁFADI, T. *Hedge* dinâmicos: uma evidência para os contratos futuros brasileiros. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 71-78, 2006.
- BM&FBOVESPA. **Especificações do contrato futuro de café (2012)**. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/listados-a-vista-e-derivativos/commodities/futuro-de-cafe-arabica-tipo-4-5.htm>. Acesso em: 10 nov. 2013.
- BOLLERSLEV, T. Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. **Journal of Econometrics**, Amsterdã, v. 31, p. 307-327, 1986.
- BOOTH, W. C.; COLOMB. G. C.; WILLIAMS, J. M. **The craft of research**. 3. ed. Chicago: The University of Chicago Press, 2008.
- CHANG, C. L.; MCALEER, M.; TANSUCHAT, R. Analyzing and forecasting volatility spillovers, asymmetries and hedging in major oil markets. **Energy Economics**, Amsterdã, v. 32, p. 1.445-1.455, 2010.
- CHEN, S.; LEE, C.; SHRESTHA, K. Futures *hedge* ratio: a review. **The Quarterly Review of Economics and Finance**, Urbana, v. 43, p. 433-465, 2003.
- COLLINS, R. A. Toward a positive economic theory of hedging. **American Journal of Agricultural Economics**, Milwaukee, v. 79, n. 2, p. 488-499, 1997.
- DELFINO NETTO, A. **O problema do café no Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1973. (Ensaio sobre o Café e Desenvolvimento Econômico).
- EDERINGTON, L. H. The hedging performance of the new futures markets. **The Journal of Finance**, Chicago, v. 34, n. 1, p. 157-170, 1979.
- ENGLE, R. GARCH 101: the use of ARCH/GARCH models in applied econometrics. **Journal of Economic Perspectives**, Pittsburgh, v. 15, n. 4, p. 157-168, 2001.
- ENGLE, R. F.; KRONER, K. F. Multivariate simultaneous generalized Arch. **Econometric Theory**, Cambridge, v. 11, n. 1, p. 122-150, 1995.

- EUROPEAN COMMISSION. **Historical price volatility**. 2009. Disponível em: <http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/tradepol/commodityprices/volatility_en.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2013.
- 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 e Agroindustriais**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 42-50, 1999.
- GEMECH, F. et al. Market-based price-risk management: welfare gains for coffee producers from efficient allocation of resources. **Oxford Development Studies**, Oxford, v. 39, n. 1, p. 49-68, 2011.
- HARZER, J. H. et al. Eficiência dos mercados futuros de commodities agrícolas aplicando-se o teste de cointegração. **Revista de Administração da UFSM**, v. 5, n. 2, p. 336-353, 2012.
- INSTITUTO DE ENSINO E PESQUISA (INSPER). **Cotações de preços de commodities agropecuárias**. 2013.
- JOHNSON, L. L. The theory of hedging and speculation in commodity futures. **The Review of Economic Studies**, Estocolmo, v. 27, n. 3, p. 139-151, 1960.
- KARP, L. S. Methods for selecting the optimal dynamic *hedge* when production is stochastic. **American Journal of Agricultural Economics**, Milwaukee, v. 69, n. 3, p. 647-657, 1987.
- KRONER, K. F.; SULTAN, J. Time-varying distributions and dynamic hedging with foreign currency Futures. **The Journal of Financial and Quantitative Analysis**, Seattle, v. 28, n. 4, p. 535-551, 1993.
- LAZZARINI, D. A. B. **A taxa ótima de hedge no mercado brasileiro do boi gordo: uma abordagem com BEKK, DCC e BEKK com dummies de safra e entressafra**. 2010. Dissertação (Mestrado em Economia)–Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getulio Vargas, São Paulo, 2010.
- LEÃO, I. A. et al. Comparativo entre mercados futuros agropecuários internacionais. **Revista Ciências Administrativas**, v. 19, n. 1, p. 380-402, 2013.
- LEUTHOLD, R. M.; JUNKUS, J. C.; CORDIER, J. E. **The theory and practice of futures markets**. Toronto: Lexington Books: D. C. Heath and Company, 1989.
- LIEN, D.; YANG, L. Asymmetric effect of basis on dynamic futures hedging: empirical evidence from commodity markets. **Journal of Banking & Finance**, Chicago, v. 32, p. 187–198, 2008.
- 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**, São Carlos, v. 17, n. 3, p. 617-626, 2010.
- MARTINS, A. G; AGUIAR, D. R. D. Efetividade do *hedge* de soja em grão brasileiro com contratos futuros de diferentes vencimentos na Chicago Board of Trade. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 2, n. 4, p. 449-472, 2004.
- MCKENZIE, A. M.; HOLT, M.T. Market efficiency in agricultural futures markets. **Applied Economics**, Abingdon, v. 34, p. 1.519-1.532, 2002.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Estatísticas de produção e comercialização agropecuária**. 2012. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/aceso-a-informacao/dadosabertos>>. Acesso em: 1º fev. 2014.
- MOHAN, S. Market-based price-risk management for coffee producers. **Development Policy Review**, Malden, v. 25, n. 3, p. 333-354, 2007.
- MOSCHINI, G. C.; MYERS, R. J. Testing for constant *hedge* ratios in commodity markets: a multivariate GARCH approach. **Journal of Empirical Finance**, Amsterdã, v. 9, p. 589-603, 2002.

- MÜLLER, C. A. S. **Análise das estratégias estáticas e dinâmicas de *hedge* para o mercado brasileiro de café arábica.** 132 p. 2007. Tese (Doutorado em Economia Aplicada)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007. Disponível em: <<http://www.ufv.br>>. Acesso em: 1º dez. 2013.
- MYERS, R. J.; THOMPSON, S. R. Generalized optimal *hedge* ratio estimation. **American Journal of Agricultural Economics**, Milwaukee, v. 71, n. 4, p. 858-868, 1989.
- NISHIJIMA, M.; SAES, M. S. M.; POSTALI, F. A. S. Análise de concorrência no mercado mundial de café verde. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 50, n. 1, p. 69-82, 2012.
- OUATTARA, K.; SCHROEDER, T. C.; SORENSON, L. Potential use of futures markets for international marketing of Cote d'Ivoire coffee. **The Journal of Futures Markets**, Charlottesville, v. 10, n. 2, p. 113-122, 1990.
- PIMENTA, M. L. et al. Valores pessoais e percepção de atributos em marcas regionais de café na cidade de Lavras. **Revista de Administração da UFSM**, v. 4, n. 1, p. 39-52, 2011.
- ROSALEM, V.; GOMES, C. S.; OLIVEIRA, M. F. Estratégia de comercialização em mercados derivativos: cálculo de base e risco de base do boi gordo em diversas localidades do Brasil. **Revista de Administração da UFSM**, v. 1, n. 3, p. 402-417, 2009.
- SHI, W.; IRWIN, S. H. Optimal hedging with a subjective view: an empirical Bayesian approach. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 87, n. 4, p. 918-930, 2005.
- SILVA, A. R. O.; AGUIAR, D. R. D.; LIMA, J. E. A efetividade do *hedge* e do cross-hedge de contratos futuros para soja e derivados. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 383-406, 2003.
- SILVEIRA, R. L. F. **Análise das operações de cross-hedge do bezerro e do *hedge* do boi gordo no mercado futuro da BM&F.** 106 f. 2002. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada)–Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. Disponível em: <http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/USP_d213dc02ff84bc89a4ed0daa2846d718>. Acesso em: 1º mar. 2013.
- SOUZA, W. A. R. et al. A eficiência de *cross-hedge* do risco de preço de frangos com o uso de contratos futuros de milho da BM&FBOVESPA. **Sociedade, Contabilidade e Gestão**, Rio de Janeiro, v. 6, p. 1-15, 2011.
- SOUZA, W. A. R.; CALDARELLI, C. E. Análise comparativa da efetividade do *hedge* para soja usando MQO e o modelo GARCH BEKK bivariado. **Revista de Economia**, Curitiba, v. 37, p. 1-15, 2011.
- SOUZA, W. A. R.; MARTINES-FILHO, J. G.; MARQUES, P. V. O *hedge* simultâneo dos riscos de preço e de câmbio da produção de soja em Rondonópolis (MT), utilizando contratos da BOVESPA-BM&F. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 403-413, 2011.
- STEIN, J. L. The simultaneous determination of spot and futures prices. **The American Economic Review**, Pittsburgh, v. 51, n. 5, p. 1.012-1.025, 1961.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Coffee: world market and trades.** Circular series. Dez. 2011. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2013.
- WHITE, H. A heteroskedasticity-consistent covariance matrix estimator and a direct test for heteroskedasticity. **Econometrica**, Malden, v. 48, n. 4, p. 817-838, 1980.