

ÁLVARO NARCISO RÉGIS CORREIA

CUSTO FINANCEIRO DO *HEDGE*: UMA COMPARAÇÃO
ENTRE CONTRATOS FUTUROS E OPÇÕES SOBRE FUTUROS
DE *COMMODITIES*

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre em
Economia, do Programa de Pós-graduação em
Ciências Econômicas, da Universidade
Estadual de Maringá.

Orientador:
Prof. Dr. Alexandre Florindo Alves

MARINGÁ
2016

ÁLVARO NARCISO RÉGIS CORREIA

CUSTO FINANCEIRO DO *HEDGE*: UMA COMPARAÇÃO
ENTRE CONTRATOS FUTUROS E OPÇÕES SOBRE FUTUROS
DE *COMMODITIES*

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre em
Economia, do Programa de Pós-graduação em
Teoria Econômica, da Universidade Estadual
de Maringá, sob a apreciação da seguinte
banca examinadora:

Aprovado em 20 de maio de 2016

Alexandre Florindo Alves, Doutor (UEM)
- Assinatura -

José Luiz Parré, Doutor (UEM)
- Assinatura -

Marcos Aurélio Rodrigues, Doutor (TJ-PR)
- Assinatura -

APRESENTAÇÃO

A presente dissertação busca investigar se existe uma relação entre os custos das operações e a escolha do instrumento derivativo utilizado para o *hedge* de *commodities*. Os contratos analisados são: futuros e opções sobre futuros. As *commodities* escolhidas para verificar essa relação são o boi gordo e o milho que são negociados na Bolsa de Valores de São Paulo – BM&FBOVESPA.

Além disso, para realizar a pesquisa, se faz uma classificação das diversas categorias de custos relacionadas às operações de proteção de preços, e de uma forma mais ampla, dos custos ligados às operações com ativos financeiros.

Dentre as diferentes classes de custos presentes na literatura ligadas às operações com contratos futuros, considera-se como sendo o custo financeiro desse tipo de contrato a soma do custo de oportunidade de duas categorias de custo apresentadas em Andrade (2004): custo de oportunidade do depósito de margem de garantia e o custo de oportunidade do dinheiro destinado aos ajustes diários. Assim sendo, o problema fundamental para mensurar o custo financeiro das operações de *hedge* com contratos futuros é estimar o volume de capital a ser utilizado para manter a operação líquida durante o horizonte de planejamento. Dessa forma, este custo financeiro é equivalente ao custo de uma operação de crédito, o qual é destinado para assegurar a execução da operação.

Ainda, o presente trabalho define o custo financeiro de uma operação com contratos de opções sobre futuros como sendo o prêmio teórico de uma opção no-dinheiro somado ao custo de oportunidade deste durante o horizonte de planejamento da operação.

Todavia, ao se considerar a variedade de agentes que podem se utilizar dos mercados futuros para fazer a operação de *hedge*, é factível conceber a hipótese de imperfeição no mercado de crédito brasileiro e assim mensurar o custo financeiro das operações de *hedge* com diferentes taxas de juros praticadas na economia. Portanto procura-se averiguar se essa variável – o custo financeiro do *hedge* – afeta a preferência dos agentes com relação à escolha dos contratos derivativos a ser utilizados no *hedge* de *commodities*. As taxas de juros utilizadas para calcular o custo financeiro dos contratos são: a de recursos direcionados, a DI/Cetip e a de recursos livres.

Apesar de os contratos futuros e de opções sobre futuros serem instrumentos heterogêneos e que proporcionam resultados distintos tanto no final da operação – variação do ativo – quanto nas possíveis estratégias de *hedge*, a comparação do custo financeiro dos

instrumentos torna-se necessária. Essa medida de custo dos contratos pode auxiliar o *hedger* no processo de seleção do instrumento derivativo de duas maneiras: i) possibilita ao agente escolher o contrato derivativo através de uma medida objetiva; ii) permite que este tenha uma aproximação dos custos totais das operações com contratos futuros, visando equilibrar esse critério de escolha dos contratos, porque o agente está plenamente informado sobre o valor do custo da operação já em seu início.

Embora não tenham sido encontrados trabalhos específicos sobre a comparação de custos entre os instrumentos derivativos estudados na pesquisa¹, esta se baseia em quatro vertentes teóricas que de forma indireta atuam para constituir a unidade da dissertação: risco de mercado, risco de encerramento, matemática aplicada a finanças e desenvolvimento e aplicações de modelos².

Algumas pesquisas correlatas mostram que os custos envolvidos nas operações de *hedge* realizadas com contratos futuros exercem influência na preferência dos agentes quanto à decisão do *hedge*. Andrade (2012) mostrou a influência dos custos de corretagem, dos custos associados à chamada de margem e dos custos de tributação na razão ótima de *hedge* do boi gordo no mercado brasileiro. Mattos *et al.* (2008) apresentam a participação dos custos relacionados à corretagem e do custo de oportunidade em aplicações alternativas na razão ótima de *hedge* e no custo de oportunidade de não fazer o *hedge*.

Deste modo, o trabalho está dividido em cinco seções. Na introdução apresenta-se a problemática relacionada à escolha dos instrumentos derivativos, a hipótese e os objetivos, além das justificativas. Na seção dois mostra-se o referencial teórico-empírico pertinente ao tema, onde são abordadas as principais vertentes teóricas relacionadas à pesquisa como um todo, principalmente, uma breve revisão dos trabalhos que investigam a participação dos custos do *hedge* na decisão dos agentes. Ainda se mostra os métodos de estimação utilizados no tratamento dos dados e nas estimações dos resultados: revisão sobre os estimadores de volatilidade implícito e histórico da família ARCH aplicados à metodologia de mensuração do risco financeiro *Value at Risk*. Na terceira encontram-se as informações relativas aos dados utilizados e aos procedimentos metodológicos adotados para quantificar o custo financeiro de cada contrato analisado. Na quarta apresenta-se análise das séries dos retornos do boi gordo e do milho, onde se mostra os procedimentos estatísticos que apontam para a necessidade de especificar os modelos de variância condicional como medida da volatilidade histórica das

¹ O fato de o autor não encontrar trabalhos dessa natureza não significa que não existam trabalhos com esse tema.

² Publicações destinadas à descrição de procedimentos de métodos quantitativos.

commodities e os valores estimados do custo financeiro do *hedge* para cada *commodity*. Por fim, se apresenta os resultados da pesquisa e as considerações finais.

Os resultados mostram que as operações de *hedge* realizadas com contratos futuros são as de menores custos se comparadas com as operações feitas com os contratos de opções sobre futuros, considerando as taxas de juros de crédito direcionado e o DI/Cetip. Para as operações simuladas com a taxa de juros de recursos livres, os contratos de opções sobre futuros apresentaram o menor custo financeiro.

RESUMO

O objetivo desta dissertação é comparar o custo financeiro das operações de *hedge* realizadas com os instrumentos derivativos: contratos futuros e de opções sobre futuros, nos mercados de derivativos de *commodities* da Bolsa de Valores de São Paulo. A pesquisa contribui com a literatura ao abordar uma questão para a qual não foram encontrados estudos, notadamente no caso brasileiro, onde os custos financeiros, tal como proposto aqui, assumem valores expressivos. São analisados o custo financeiro do carregamento de contratos das *commodities* boi gordo e milho. O custo financeiro de uma operação com o contrato de opção sobre futuros é definido como sendo o prêmio teórico no-dinheiro somado ao custo de oportunidade deste prêmio durante o período da operação. O custo financeiro de uma operação com o contrato futuro é determinado pelo custo do crédito projetado para manter a operação de *hedge* líquida durante o horizonte de planejamento, considerando o risco de mercado e o risco de encerramento. Os procedimentos metodológicos são divididos em duas etapas. Na primeira realiza-se o cálculo do risco de mercado, utilizando a metodologia *Value at Risk* dos referidos contratos com diferentes estimadores de volatilidade: Implícito e GARCH (1,1) e o risco de encerramento é obtido conforme a metodologia **CORE**. São obtidas diferentes medidas do custo financeiro das operações de *hedge* com contratos futuros, que são determinadas pela multiplicação do valor obtido pela soma do risco de mercado com o risco de encerramento por diferentes taxas de juros: de crédito direcionado, DI/Cetip e de recursos livres. Na etapa seguinte calcula-se o prêmio teórico de uma opção sobre futuros no-dinheiro pela fórmula de Black (1976). Assim, calcula-se o custo financeiro da operação de *hedge* com contratos de opções sobre futuros somando o prêmio teórico no-dinheiro ao custo de oportunidade pelas diferentes taxas de juros. Por fim, se compara os custos financeiros dos instrumentos através de simulações de operações de *hedge*. Os resultados mostram evidências de que as operações de *hedge* realizadas com contratos futuros têm menor custo em comparação com os contratos de opções sobre futuros para todas as *commodities* e para todos os estimadores de volatilidade para as taxas de juros de crédito direcionado e DI/Cetip. Para as operações realizadas pela taxa de juros de recursos livres, a opção sobre futuros é o instrumento derivativo de menor custo financeiro para a realização de operações de *hedge*.

Palavras-chave: *Hedge*. Custo financeiro. Valor em risco. *Commodities*.

ABSTRACT

The aim of this dissertation is to compare the financial cost of hedging transactions with the following derivative instruments: futures contracts and options on futures, in the commodity derivatives markets of the São Paulo Stock Exchange. The research contributes to the literature by approaching an issue for which no studies have been found, particularly in the case of Brazil, where financial costs, as proposed herein, reach expressive figures. The work analyzes the financial cost of carrying contracts for commodities live cattle and corn. The financial cost of a transaction with the option on futures contract is defined as the theoretical at-the-money premium plus the opportunity cost of this premium during the period of operation. The financial cost of a futures contract transaction is determined by the cost of credit designed to maintain liquid hedge during the planning horizon, considering market and closeout risks. The methodological procedures are divided into two stages. The first consists of calculating market risk using the Value at Risk methodology of these contracts with different volatility estimators: Implicit and GARCH (1,1), and the closeout risk are obtained according to the CORE methodology. Different measurements of the financial cost of hedge transactions with futures contracts are obtained, which are determined by multiplying the value obtained from adding the market risk to the closeout risk for different interest rates: directed credit, DI/Cetip and free lending funds. The next stage calculates the theoretical premium of an option on futures at-the-money using the Black (1976) formula. The financial cost of the hedge with options on futures contracts is thus estimated by adding the theoretical at-the-money premium to the opportunity cost under the different interest rates. Finally, the financial costs of the different instruments are compared through simulated hedge transactions. The results show that hedge transactions with futures contracts have lower cost compared to options on futures contracts for all commodities and all volatility estimators for the direct credit and DI/Cetip interest rates. For operations carried out using the free lending funds interest rate, options on futures is the derivative instrument with the lowest financial cost for conducting hedge transactions.

Keywords: *Hedge. Financial costs. Value at Risk. Commodities.*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	-	Datas de referências dos dados e séries das opções.....	20
Tabela 2	-	Estatísticas descritivas das séries dos logaritmos dos retornos das <i>commodities</i>	23
Tabela 3	-	Custo financeiro do <i>hedge</i> do boi gordo (K-15) com contratos futuros com vencimento em maio de 2015.....	25
Tabela 4	-	Custo financeiro do <i>hedge</i> do boi gordo (K-15) com opções sobre futuros com vencimento em maio de 2015.....	26
Tabela 5	-	Resumo comparativo do custo financeiro do <i>hedge</i> do boi gordo (K-15) com vencimento em maio de 2015.....	27
Tabela 6	-	Custo financeiro do <i>hedge</i> do boi gordo (K-15) com contratos futuros e opções sobre futuros para vencimento em maio de 2015 para diferentes modalidades de crédito.....	27
Tabela 7	-	Custo financeiro do <i>hedge</i> do milho (K-15) com contratos futuros com vencimento em maio de 2015.....	28
Tabela 8	-	Custo financeiro do <i>hedge</i> do milho (K-15) com opções sobre futuros com vencimento em maio de 2015.....	28
Tabela 9	-	Resumo comparativo do custo financeiro do <i>hedge</i> do milho (K-15) com vencimento em maio de 2015.....	29
Tabela10	-	Custo financeiro do <i>hedge</i> do milho (K-15) com contratos futuros e opções sobre futuros para vencimento em maio de 2015 para diferentes modalidades de crédito.....	29
Tabela11	-	Testes de raiz unitária.....	34
Tabela12	-	Teste de heterocedasticidade de Breusch-Pagan/Cook-Weiberg.....	34
Tabela13	-	Teste Box-Pierce-Ljung de autocorrelação.....	34
Tabela14	-	Teste LM para a heterocedasticidade condicional autorregressiva.....	34
Tabela15	-	Coeficientes das regressões GARCH (1,1).....	35

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
2.	REFERENCIAL TEÓRICO-EMPÍRICO.....	13
2.1	CUSTOS DO <i>HEDGE</i>	13
2.1.1	Custo financeiro do <i>hedge</i>.....	14
2.2	MÉTODOS DE ESTIMAÇÃO DOS CUSTOS.....	16
2.2.1	Value at Risk.....	16
2.2.2	Volatilidade implícita.....	17
2.2.3	Volatilidade GARCH.....	18
3.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	19
3.1	DADOS.....	19
3.2	METODOLOGIA.....	21
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
4.1	ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS SÉRIES DE PREÇOS À VISTA DAS <i>COMMODITIES</i>	22
4.2	CUSTO FINANCEIRO DO <i>HEDGE</i>	24
5.	CONCLUSÕES.....	30
	REFERÊNCIAS.....	31
	APÊNDICE A – Resultados estatísticos.....	34
	APÊNDICE B – Risco de encerramento.....	36

1. INTRODUÇÃO

As atividades ligadas às cadeias produtivas de *commodities* agropecuárias estão expostas a vários tipos de riscos, que estão distribuídos nas fases de planejamento, produção e comercialização de cada agente participante. Portanto, para que os agentes inseridos nessas cadeias possam ser bem sucedidos em seu resultado global é necessário que sejam capazes de identificar, quantificar, e assim, administrar esses riscos adequadamente.

O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (2006) e a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (2009) apontam um conjunto de riscos ligados à atividade agropecuária. São eles: o risco de produção, de renda, de preço, de financiamento e o institucional. Desse modo, pode-se argumentar que um dos riscos mais relevante para os agentes que operam em algum dos vários níveis das cadeias produtivas de *commodities* é o risco de preço de seus insumo/produtos. Por esta razão, os agentes inseridos nessas cadeias podem se utilizar dos instrumentos derivativos para evitar perdas financeiras ocasionadas pela variação do preço de seus insumos/produtos.

Dentre os instrumentos disponíveis para realizar o *hedge* de *commodities* pode-se destacar os contratos futuros e os de opções sobre futuros. Alexander (2008) expõe o contrato futuro como um acordo para comprar ou vender determinado ativo subjacente numa data específica no futuro, por preço estabelecido no momento da negociação. Outro tipo de contrato utilizado nas operações de *hedge* de *commodities* são os contratos de opções sobre futuros. Esse tipo de derivativo recebe essa denominação porque o ativo subjacente da opção é um contrato futuro da *commodity* negociada. Também Alexander (2008) apresenta as opções sobre futuros como os contratos que dão o direito a seu portador de entrar em um novo contrato em um período de tempo previamente determinado. As opções sobre futuros são classificadas em opções de compra, pelas quais o *hedger* pode comprar um contrato futuro a preço pré-estabelecido, e as opções de venda, pelas quais ele pode vender um contrato futuro. O prêmio de um contrato de opção sobre futuros de *commodities* é calculado de acordo com fórmulas de precificação específicas³.

Tendo em vista a variedade de instrumentos derivativos disponíveis, ressalta-se o problema da escolha do contrato derivativo para realizar a operação de *hedge*. Portanto, destacam-se alguns questionamentos sobre o comportamento do *hedger* diante da escolha do

³ Neste trabalho foi utilizada a fórmula de Black (1976), em função de ser esta a utilizada no cálculo do prêmio teórico da Bolsa de Valores de São Paulo – BM&FBOVESPA.

instrumento derivativo para gerenciar o risco de preço: “como é realizada a seleção do contrato derivativo para administrar o risco de preço”? “qual é o critério utilizado pelo agente para escolher o instrumento derivativo”? “o *hedger* pode selecionar o instrumento, considerando apenas os custos envolvidos na operação”? “quais custos devem ser considerados nessa tomada de decisão”? “o custo financeiro da operação de *hedge* é relevante para a escolha dos contratos”? “ainda, se o custo financeiro é relevante, as imperfeições no mercado de crédito que dão origem a diversas taxas de juros na economia podem influenciar na escolha do instrumento”?

Alguns trabalhos buscam mostrar a influência dos custos no processo de decisão do *hedging*. Mattos *et al.* (2008), avaliam a influência dos custos na razão ótima de *hedge* da soja negociada na Chicago Board of Trade, e no custo de oportunidade de não realizar o *hedging*. Concluem que o custo de corretagem e o custo de oportunidade em aplicações alternativas causam alterações na razão ótima de *hedge* e no custo de oportunidade de não fazer o *hedge*. Elisson (2012) verifica a participação dos custos de transação⁴ na efetividade da razão ótima de *hedge* boi gordo no mercado brasileiro. Ao considerar os custos de corretagem e de bolsa, o custo de oportunidade dos ajustes diários e os custos com tributação, conclui que esses custos alteram a razão ótima de *hedge* do boi gordo neste mercado, a exemplo dos resultados apresentados por Mattos *et al.* (2008).

Diante desta abordagem teórica que busca verificar a influência dos custos na tomada de decisão do *hedging*, a presente dissertação justifica-se pelo fato de avaliar se os custos relacionados às operações de *hedge* – em particular o financeiro – podem alterar as preferências dos agentes quanto à escolha dos instrumentos disponíveis para o *hedge*: contratos futuros e as opções sobre futuros.

Além do mais, esta dissertação parte da hipótese de que diferenças nos custos das operações de *hedge* modificam as preferências dos agentes no processo de seleção dos instrumentos derivativos utilizados para o *hedge*. Procura-se verificar a validade da hipótese, buscando constatar que as operações de proteção de preços feitas com contratos futuros apresentam menor custo se comparadas com as realizadas com opções sobre futuros.

Desse modo, considerando que o custo financeiro dos contratos derivativos esteja associado aos fatores de risco de cada um, argumenta-se que os contratos de opções sobre futuros estão expostos a um número maior desses fatores se comparados com os contratos

⁴ Andrade (2004) interpreta o termo custos de transação – *transaction costs* – no sentido de Coase (1937). Neste trabalho o termo custos de transação é interpretado como aqueles relacionados às operações com ativos financeiros - no sentido de *trading costs*.

futuros. O risco de volatilidade acrescido ao prêmio das opções sobre futuros pode ser fator determinante de seu maior custo financeiro em comparação com o dos contratos futuros. Ainda, por se tratar de um custo financeiro, verifica-se se a escolha dos contratos sofre influência das imperfeições no mercado de crédito, realizando simulações de custos com diferentes taxas de juros da economia.

Assim, o objetivo desta dissertação é verificar, empiricamente, se os custos financeiros podem diferir a ponto de influenciar os agentes na seleção dos instrumentos derivativos – contratos futuros e opções sobre futuros – para realizar operações de *hedge*. Procura-se avaliar qual instrumento proporciona o menor custo para fazer operações de *hedge* – em particular avalia-se o custo financeiro da operação. Para essa constatação realiza-se simulações de operações de *hedge* com instrumentos derivativos de *commodities* negociados na BM&FBOVESPA: contratos futuros e opções sobre futuros de boi gordo e de milho.

Ressalta-se que esta é uma pesquisa quantitativa cujos procedimentos metodológicos estão divididos em duas etapas. Na primeira etapa realiza-se o cálculo do risco de mercado, utilizando a metodologia *Value at Risk*⁵ das referidas *commodities* com os diferentes estimadores de volatilidade: Implícito e GARCH (1,1). Os valores do risco de encerramento são extraídos diretamente do sítio da BM&FBOVESPA, de acordo com a metodologia **CORE**⁶. Assim, o custo financeiro das operações de *hedge* com contratos futuros é determinado pela soma do risco de mercado com o risco de encerramento multiplicado pela taxa de juros de referência. São calculados três valores distintos desse custo financeiro, utilizando-se as taxas de juros: de crédito com recursos direcionados, DI/Cetip e de crédito com recursos livres. Na etapa seguinte calcula-se o prêmio teórico de uma opção no-dinheiro pela fórmula de Black⁷ (1976). Ainda, se calcula três valores distintos do prêmio de cada opção, compondo a este prêmio as taxas de juros de referência durante o período de duração do *hedge*. Dessa forma, se compara os valores obtidos por simulações das operações de proteção de preços. Por fim, as séries históricas dos preços à vista das *commodities* são originárias do sítio do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – ESALQ/USP, a série da taxa DI/Cetip advém da Central de Custódia e de Liquidação Financeira de Títulos – CETIP. As séries das taxas de juros com recursos direcionados e livres são extraídas do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Os prêmios das opções sobre futuros de

⁵ Em português Valor em Risco. Metodologia desenvolvida pelo *Risk Metrics* para quantificar o risco de mercado de um ativo.

⁶ *Closeout Risk Evaluation*: Estrutura de avaliação de risco para contraparte centrais. Desenvolvida pela BM&FBOVESPA.

⁷ Embora existam diversas fórmulas para precificar opções, optou-se pela fórmula de Black (1976) porque ela é a utilizada no cálculo do prêmio teórico da BM&FBOVESPA.

commodities, dos ajustes diários dos contratos futuros e os valores da margem teórica máxima são obtidos no sítio da BM&FBOVESPA.

2. REFERENCIAL TEÓRICO-EMPIRÍCO

2.1 CUSTOS DO *HEDGE*

Demsetz (1968) realiza uma análise empírica dos custos de negociar ações na Bolsa de Valores de Nova Iorque. Em sua análise considera os custos de corretagem e o *ask-bid spread*, embora a análise empírica seja feita apenas neste. Demsetz (1968) se utiliza do método dos mínimos quadrados ordinários para verificar a relação entre *ask-bid spread* e a taxa de negociação desses títulos. Conclui que o aumento das negociações das ações diminuem os custos de negociar com esses ativos, ou seja, há uma relação negativa entre o *ask-bid spread* e o número de operações realizadas com os ativos. Ainda, argumenta que os resultados, provavelmente, podem ser válidos para os mercados de *commodities* e moedas.

Lence (1996) analisa os efeitos dos custos de corretagem e de recursos utilizados para a margem de garantia do milho e da soja no *hedge* de variância mínima no mercado americano. Considera os efeitos de uma aplicação alternativa na maximização da utilidade esperada do *hedger*, que atua como um fator de diversificação da riqueza dos agentes. O autor utiliza-se de métodos de simulações para verificar a influência dos custos nas razões de *hedge*. Conclui que os custos alteram negativamente a razão ótima de *hedge*, à medida que os custos aumentam a razão diminui e que o custo de oportunidade de não fazer o *hedge* diminui conforme aumenta a composição do investimento alternativo na riqueza do agente.

Mattos *et al.* (2008) consideram em sua análise o impacto dos custos na razão ótima de *hedge* da soja negociada na Chicago Board of Trade. O período tem início em janeiro de 1990 até Junho de 2004. Consideram os custos de corretagem e o de uma aplicação alternativa no mercado financeiro – S&P 500, a exemplo de Lence (1996). Os autores avaliam o custo de oportunidade de não realizar o *hedging*. Mattos *et al.* (2008) concluem que o aumento da proporção dos custos de transação e das aplicações alternativas sobre a riqueza do *hedger* diminuem a razão do *hedge* até atingir o valor zero. Além disso, o custo de não realizar o

hedge é pequeno na razão zero e aumenta à medida que as simulações aumentam a proporção da razão ótima de *hedge*.

Andrade (2012) calcula a influência dos custos de transação na razão ótima de *hedge* do boi gordo no mercado brasileiro. Quantifica os custos de tributação, de ajustes diários e das taxas cobradas pela Bolsa de Valores de São Paulo através de simulações de Monte Carlo. O autor considera que se a somatória dos ajustes diários for positiva, o custo de oportunidade do capital é zero, mas se os ajustes forem negativos, esses valores são computados como um custo para a operação de *hedge*. Conclui que os custos de transação diminuem a razão ótima de *hedge* e assim atuam como fator que explica a baixa utilização dos mercados futuros pelo produtor rural.

Folmër e Leukert (1999) descrevem o custo do *hedge* como sendo o custo de oportunidade do crédito empregado para manter a operação de líquida durante sua duração. Ao considerarem a hipótese de mercado de crédito imperfeito, argumentam que por esta razão os *hedgers* podem estruturar operações de *hedging* que busquem maximizar a probabilidade de manter a operação líquida sem que seja necessário demandar créditos adicionais para a manutenção da operação de proteção de preços, tendo em vista que a busca recorrente de créditos adicionais eleva os custos das operações.

2.1.1 Custo financeiro do *hedge*

Embora existam diversas modalidades de custos aos quais os *hedgers* podem incorrer, o estudo será desenvolvido de maneira a avaliar se o custo financeiro pode impactar na escolha do instrumento derivativo para realizar a operação de proteção de preços.

Andrade (2004) apresenta a necessidade de depósito de margem e o custo de oportunidade do dinheiro destinado aos ajustes diários como custos relacionados às operações de *hedging*. Esta pesquisa considera o custo financeiro do *hedge* com contratos futuros como sendo a soma do custo de oportunidade destas duas categorias de custos. Essa abordagem de que o problema para medir o custo financeiro do *hedge* com contratos futuros consiste em determinar o volume financeiro necessário para manter a operação de proteção de preços líquida durante o horizonte de planejamento baseia-se em Fölmer e Leukert (1999). Dessa forma, os volumes financeiros para calcular o custo de oportunidade do *hedge* podem ser quantificados pelo risco de encerramento, que corresponde à margem de garantia e o risco de

mercado que apresenta uma estimativa do volume de recursos necessários para manter a operação líquida, considerando os ajustes diários.

Assim, o custo financeiro de uma operação de *hedge* com contratos futuros pode ser definido como o custo do volume financeiro projetado para o período de duração da operação de proteção de preços. Este custo (CFF) é representado pela soma do risco de mercado e do risco de encerramento da *commodity* multiplicada por determinada taxa de juros⁸, como mostram as equações (2.1) e (2.2):

$$\text{Volume Financeiro} = \text{Risco de mercado} + \text{Risco de encerramento} \quad (2.1)$$

$$\text{CFF} = \text{Volume Financeiro} \times ((1 + \text{Taxa de juros})^t - 1) \quad (2.2)$$

Para que os custos financeiros possam ser comparados, busca-se definir o custo financeiro de uma operação com contratos de opções sobre futuros. Ressalta-se que, ao realizar uma operação de *hedge* com estes contratos, o *hedger* realiza apenas um desembolso inicial referente ao prêmio da opção, sendo este o custo de administrar o risco de preço da *commodity* com esses contratos.

Entretanto, o custo financeiro de uma operação de proteção de preços com os contratos de opções sobre futuros (CFO) é definido como sendo o prêmio da opção sobre futuros somado ao seu custo de oportunidade durante o período de duração do *hedge* – custo de carregamento da opção sobre futuros:

$$\text{CFO} = \text{Prêmio Teórico} \times (1 + \text{Taxa de juros})^t \quad (2.3)$$

O acréscimo do custo de oportunidade do prêmio teórico da opção ao custo deste se deve à forma como foi definido o custo financeiro da operação de *hedge* com os contratos futuros. O volume financeiro necessário para manter a operação de *hedge* líquida durante o horizonte de planejamento da operação é equivalente a uma operação de crédito onde um empréstimo é

⁸ As taxas de juros utilizadas na análise são: taxa de juros com recursos direcionados, DI/Cetip e a de recursos livres. São utilizadas taxas distintas para considerar a heterogeneidade dos agentes em relação ao acesso ao sistema bancário. As medidas do custo financeiro que consideram a taxa de juros de recursos direcionados podem ser utilizadas para comparar a estratégia de comercialização com contratos derivativos às outras incentivadas pelo Sistema Nacional de Crédito Rural. A taxa DI/Cetip é utilizada como uma medida referência para a utilização de recursos próprios nas operações de *hedge* e a taxa de juros de recursos livres serve como um indicador de uma possível necessidade do Governo direcionar recursos para a realização de operações de proteção de preços.

realizado no início da operação e liquidado em seu término – em conjunto com a liquidação no mercado físico. Dessa forma, os valores dos custos financeiros dos instrumentos são comparados ao final da operação.

2.2 MÉTODOS DE ESTIMAÇÃO DOS CUSTOS

2.2.1 *Value at Risk*

O volume financeiro do risco de mercado cujo é um dos componentes do custo financeiro das operações de *hedge* com contratos futuros é mensurado pela metodologia *Value at Risk*⁹. Essa possibilita quantificar uma estimativa do volume financeiro dos ajustes diários da posição em contratos futuros.

Jorion (2003) descreve esta metodologia como a que apresenta o valor da maior perda esperada de um ativo, considerando os parâmetros: volume financeiro (W), volatilidade (σ), horizonte de tempo da operação (t) e o múltiplo de desvios-padrão da distribuição dos log-retornos (α), conforme a equação (2.4):

$$\mathbf{VaR} = W \sigma \sqrt{t} \alpha \quad (2.4)$$

O cálculo do *Value at Risk* de um ativo é realizado em cinco etapas: (i) marcar a mercado o valor do ativo; (ii) medir a sua volatilidade; (iii) determinar o período de carregamento do ativo; (iv) decidir o múltiplo de desvios-padrão da distribuição dos retornos e (v) gerar o valor da pior perda esperada (JORION, 2003). Dentre as variáveis apresentadas na equação (2.4), a única não observável é a volatilidade (σ). Portanto, para mensurar o *VaR* das *commodities* torna-se necessário estimar a volatilidade do ativo-objeto que pode ser obtida através dos modelos de estimadores de volatilidade: implícito e histórico.

⁹ Verificou-se a possibilidade de se utilizar os modelos *CVaR* como o valor de referência para calcular o risco de mercado das *commodities*. Contudo, constatou-se que sua utilização limitaria o horizonte de tempo das simulações das operações de *hedge*. O *CVaR* constitui-se de uma média das observações localizadas nas caudas da distribuição dos retornos. Dessa forma, por ser a média um operador linear, uma *commodity* que apresente um *CVaR* de 3% exigiria um depósito de 90% do volume financeiro do ativo-objeto em uma operação de *hedge* de 30 dias.

2.2.2 Volatilidade Implícita

Existem vários métodos para estimar a volatilidade implícita de um ativo-objeto. Jorion (2003, p.181) argumenta que se pode estimar a volatilidade implícita de um ativo-objeto, inserindo o prêmio de uma opção negociada em fórmula específica de apreçamento de opções. Ainda, Jorion (2003, p.181) expõe que se os mercados forem eficientes, a volatilidade implícita é o melhor estimador da volatilidade futura do ativo-objeto: “Como as opções refletem o consenso do mercado sobre a volatilidade futura, há fortes motivos para se acreditar que as previsões baseadas em opções devem ser melhores que as estimativas históricas” (JORION, 2003, p. 182). E conclui sugerindo o uso da volatilidade implícita como estimador do **VaR**:

Em geral, as evidências indicam que as opções encerram uma riqueza de informações sobre o risco de preço que continua a superar as contidas nos modelos de séries temporais. Elas são particularmente úteis nos períodos de turbulência, quando o mercado não tem acesso a dados correntes que, simplesmente, não são refletidos pelos modelos históricos. Portanto, podemos afirmar que, sempre que possível, o VAR [**Value at Risk**] deve utilizar parâmetros implícitos (JORION, 2003, p.183).

Hull (1996, 2006) apresenta dois métodos para estimar a volatilidade implícita de um ativo-objeto: o método de tentativa e erro e o de média ponderada de um conjunto de opções. O método de tentativa e erro consiste em igualar o prêmio pago pelo mercado ao prêmio teórico calculado por fórmula de precificação de opções¹⁰ específica, realizando os ajustes necessários nos valores da volatilidade, tomando os outros parâmetros como constantes. O método da média ponderada consiste em calcular a volatilidade de um ativo-objeto através de uma média ponderada de um conjunto de opções desse mesmo ativo, atribuindo-se pesos de acordo com a sensibilidade das opções à volatilidade. As opções com maior sensibilidade a variação da volatilidade têm maior peso na média ponderada. Beckers (1981) analisa dois métodos de ponderação de volatilidade e conclui que o método em que o preço da opção apresenta maior sensibilidade à variação da volatilidade é o que apresenta os melhores resultados. BM&FBOVESPA (2014) sugere a utilização do método de interpolação *spline* cúbico para obter a volatilidade de uma opção para as diferentes séries lançadas. Chriss (1997

¹⁰ Hull (1996) utiliza o modelo Black e Scholes (1973).

apud KRAWIEC, 2013, p.307) expõe outros dois métodos alternativos para obter a volatilidade implícita do ativo-objeto: bisections e Newton-Raphson method¹¹.

2.2.3 Volatilidade GARCH

Além da volatilidade implícita obtida através das informações geradas nas negociações dos contratos de opções, a volatilidade de um ativo-objeto pode ser estimada por modelos históricos. Esses modelos supõem que o comportamento futuro da variável aleatória pode ser estimado por seu comportamento passado.

Uma característica importante das séries temporais financeiras é que estão sujeitas ao fenômeno da aglomeração de volatilidade. Esse fenômeno é constatado pela existência de períodos nos quais a volatilidade do ativo é mais elevada em relação a períodos em que a volatilidade apresenta uma variação menor (GUJARATI; PORTER, 2011, p.784). Para as séries de tempo que apresentam comportamento heterocedástico foram desenvolvidos modelos de heterocedasticidade condicional que permitem estimar a volatilidade de um ativo-objeto, cuja variância não é constante ao longo do tempo.

Morettin e Tolo (2004, apud, LIMA, 2015, p.281-2) argumentam que a principal suposição dos modelos de heterocedasticidade condicional – modelos da família ARCH – é considerar que os retornos dos ativos não apresentam correlação serial. Entretanto a variância condicional apresenta dependência com os retornos passados, sendo esta relação representada por uma função quadrática. Assim, um modelo ARCH pode ser expresso como:

$$r_t = \sqrt{h_t} \varepsilon_t \quad (2.5)$$

onde: $\varepsilon_t | \Omega_{t-1} \sim N(0, H)$

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 r_1^2 + \dots + r_{t-n}^2 \quad (2.6)$$

Sendo (r_t) o retorno do ativo; (h_t) a variância prevista para o período seguinte; (α_n) os coeficientes da equação de previsão da volatilidade e (ε_t) o termo de erro. Lima (2015, p.

¹¹ Os procedimentos para calcular a volatilidade implícita por esses métodos estão descritos em Krawiec (2013).

282) aponta que ao se utilizar o quadrado dos retornos, algumas observações de valor elevado podem encaminhar a previsões equivocadas e recorrer a um número excessivo de parâmetros no processo de ajuste da autocorrelação serial e conseqüentemente na construção do modelo.

Bollerslev (1986) elabora modelos Auto Regressivos de Volatilidade Condicional Generalizada (GARCH) cujo propósito é o de estimar a volatilidade utilizando um número menor de parâmetros em relação aos modelos ARCH, como proposto por Engel (1982). O modelo acrescenta a volatilidade do período anterior como um dos parâmetros para obter-se a volatilidade contemporânea. Dessa forma, o modelo GARCH pode ser descrito como:

$$h_t = \alpha_0 + \alpha_1 r_{t-1}^2 + \beta_1 h_{t-1} + \dots + \alpha_n r_{t-n}^2 + \beta_n h_{t-n} \quad (2.7)$$

Sobre a aplicação dos modelos ARCH como estimador da volatilidade do *Value at Risk*, Alexander (1996) expõe que a atribuição do mesmo peso tanto as informações mais recentes quanto as mais defasadas é uma desvantagem dos modelos do tipo GARCH. Além disso, Jorion (2003, p.173) argumenta que a previsão da volatilidade dos modelos GARCH para um horizonte de tempo longo é bastante complexa e que por esta razão a regra da raiz¹² pode ser utilizada. Contudo, Jorion (2003) afirma que esta regra deve ser utilizada para a extrapolação do *VaR* quando o valor da variância condicional de curto prazo coincide com a de longo prazo. Se esta condição não for satisfeita o *VaR* pode ser superestimado se a variância de curto prazo for maior que a de longo prazo, e subestimado se esta for menor em relação à variância condicional inicial.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 DADOS

As séries históricas dos preços à vista das *commodities* são originárias do sítio do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – ESALQ/USP. Os períodos utilizados das séries são: boi gordo 23/07/1997 a 29/05/2015 e a do milho 05/01/2004 a 15/05/2015.

¹² A regra da raiz consiste na extrapolação da volatilidade pela expressão: $\sigma_{\Delta t} = \sigma_t \sqrt{\Delta t}$. Ou seja, a volatilidade condicional é considerada constante durante a operação de *hedging*.

Para calcular a volatilidade histórica dos ativos, a série de preços de cada ativo é dividida em três períodos. Estes correspondem as 1.000 observações anteriores ao dia em que se inicia a simulação da operação de *hedge*. O valor nocional – volume financeiro – das operações é o valor do ajuste diário da *commodity*, divulgado pela BM&FBOVESPA, multiplicado pela quantidade de referência de cada contrato. Este valor é obtido no dia anterior ao início da operação de proteção de preços. Os prêmios das opções sobre futuros para calcular a volatilidade implícita são originários do sítio da BM&FBOVESPA e são coletados pontualmente, no dia em que tem início a simulação, assim como, os valores referentes ao risco de encerramento. Estes são os valores da margem teórica máxima do dia em que tem início à operação de *hedge*, conforme divulgada pela BM&FBOVESPA. As datas referentes à coleta dos dados utilizados nas simulações das operações de *hedge* estão expostas na Tabela 1. Além das datas se apresenta as séries das opções cujos prêmios serviram de referência para o cálculo da volatilidade implícita.

Tabela 1: Datas de referências dos dados e série das opções utilizadas.

Série	Dias	Corte na Série	Valor Nocional	Prêmio/ Margem	Série da opção
	120	-	-	-	-
Boi Gordo	90	14/01/2011 a 16/01/2015	14/11/2014	19/01/2014	KHN9K15P014000
	60	25/02/2011 a 03/03/2015	02/01/2015	04/03/2015	KHNHK15P014300
	30	12/04/2011 a 15/04/2015	15/04/2015	16/04/2015	KHNNK15P014550
Milho	120	16/11/2010 a 14/11/2014	14/01/2014	17/11/2014	KHMFK15P002200
	90	30/12/2010 a 02/01/2015	02/01/2015	05/01/2015	KHMFK15P002300
	60	-	-	-	-
	30	29/03/2011 a 31/03/2015	31/03/2015	01/04/2015	KHMJK15P002500

Fonte: Elaboração própria.

As séries das taxas de juros utilizadas para calcular o custo de oportunidade das operações de *hedge* são: a de crédito de recursos direcionados, a DI/Cetip e a de crédito de recursos livres. As séries das taxas de juros de crédito de recursos direcionados e de recursos livres são originárias do Banco Central do Brasil em valores mensais cujos correspondem aos meses de novembro de 2014 até maio junho de 2015, totalizando 8 observações. A série histórica da taxa DI/Cetip é constituída do número de 130 observações diárias que representam o período de 17/11/2014 até 29/05/2015 extraída do sítio da CETIP. As séries

são divididas conforme a duração de cada operação de *hedge*, conforme apresentado na Tabela 1.

3.2 METODOLOGIA

O risco de mercado das séries de preços à vista das *commodities* é calculado pela metodologia *Value at Risk*. São computadas duas medidas distintas do risco de mercado para cada série de preço de cada *commodity*, uma utilizando o estimador de volatilidade implícito e a outra empregando o estimador histórico. A volatilidade implícita foi obtida utilizando-se o algoritmo *Bisection* na fórmula de Black (1976), tendo como valor de referência o prêmio das opções negociadas no dia – considerando duas casas decimais. Quando há mais de uma opção negociada no dia, a opção escolhida é a que apresenta maior liquidez¹³. Com relação aos demais parâmetros utilizados para calcular o *VaR*, o volume financeiro (*W*) é o preço de ajuste do contrato multiplicado pela quantidade de referência do contrato futuro negociado; o nível de confiança da distribuição dos retornos é 2,33 desvios-padrão, equivalendo a 99% das observações dos retornos e o tempo utilizado para simular as operações de *hedge* foram os intervalos de 30, 60, 90 e 120 dias anteriores à data de encerramento das negociações dos contratos.

Os procedimentos para calcular o *VaR* com estimador de volatilidade histórico, consistem em separar 1.000 observações anteriores ao dia em que a operação de *hedge* é simulada. A série de preços é transformada na forma de logaritmo e diferenciada, originando a série dos log-retornos com perda de uma observação. Estima-se o modelo com a volatilidade prevista para o dia seguinte, que corresponde ao dia do início da simulação do *hedge*. O valor da volatilidade é projetado para o período de duração do *hedge* conforme a relação: $\sigma_{\Delta t} = \sigma_{t+1} \sqrt{\Delta t}$. Os demais parâmetros seguem os mesmos procedimentos que o *Value at Risk* com estimador implícito. Assim, o *VaR* pode ser calculado conforme a equação (2.4).

¹³ Avaliou-se a possibilidade de calcular a volatilidade pelo método Newton-Raphson. Contudo, o método Newton-Raphson precisa do fator de risco *vega* que não pode ser obtido para as opções americanas – as opções sobre futuros de *commodities* analisadas são americanas – e por esta mesma razão os métodos de ponderação propostos por Beckers (1981) não podem ser utilizados.

O valor utilizado como risco de encerramento corresponde à margem teórica máxima divulgada pela BM&FBOVESPA, através da metodologia **CORE**¹⁴, considerando o período de 2 dias para a liquidação dos contratos derivativos. Os valores utilizados correspondem ao dia em que a operação de *hedge* tem início.

Dessa forma, a soma dos riscos de mercado e de encerramento é multiplicada pela taxa de juros de referência acumulada diariamente¹⁵ durante o período, gerando o valor do custo financeiro do *hedge* para os contratos futuros analisados, de acordo com a equação (2.2).

O prêmio teórico da opção é quantificado pela volatilidade implícita obtida pelo algoritmo *Bisection*, considerando a condição de igualdade entre o preço futuro e o preço de exercício – opção no dinheiro¹⁶. O valor obtido pelo prêmio teórico é acrescido pelo custo de oportunidade do prêmio. Dessa forma, obtém-se o custo financeiro dos contratos de opções sobre futuros de acordo com a equação (2.3).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DAS SÉRIES DE PREÇOS À VISTA DAS *COMMODITIES*

Agora, se expõe os resultados estatísticos e suas implicações para o desenvolvimento da dissertação. Realiza-se os testes de raiz unitária Dickey-Fuller Aumentado, Dickey-Fuller GLS e o Phillip-Perron cujo propósito é o de verificar a estacionariedade das séries dos logaritmos dos preços do boi gordo e do milho. Os resultados dos três testes apontam que as

¹⁴ No apêndice B são feitas algumas considerações sobre a metodologia **CORE**, cujo objetivo é o de apontar as diferenças entre esta e a metodologia *Value at Risk*. Não se pretende apresentar o processo metodológico para replicar os cálculos do risco de encerramento. Os dados exibidos no trabalho são extraídos diretamente da BM&FBOVESPA.

¹⁵ As taxas de juros mensais são transformadas em taxas diárias.

¹⁶ Exemplo: A opção sobre futuros de boi gordo com vencimento em maio de 2015 KNH9K15P014000, negociada no dia 19/01/2015, apresentou a maior liquidez entre as opções disponíveis com 30 contratos negociados. O valor do prêmio médio negociado no dia foi de R\$ 2,32. Utilizando o algoritmo *Bisection* na fórmula de Black (1976), obtém-se a volatilidade implícita (σ) de 9,31%. O prêmio teórico utilizado no custo financeiro da opção é calculado pela fórmula de Black (1976) considerando a volatilidade obtida (σ) de 9,31% e que a opção está no-dinheiro (preço futuro = preço de exercício), que corresponde ao ajuste diário do contrato futuro = R\$141,53/@. Assim o prêmio teórico utilizado no cálculo do custo é de 3,01.

séries em logaritmo são estacionárias em primeira diferença. Constatado que as séries são estacionárias em primeira diferença, as estatísticas descritivas e os demais testes estatísticos são realizados nos log-retornos das séries. Na Tabela 2 estão às estatísticas descritivas das séries dos log-retornos dos contratos de boi gordo e de milho.

Tabela 2: Estatísticas descritivas das séries dos logaritmos dos retornos das *commodities*

Série	Média	Máximo	Mínimo	Desvio-padrão	Assimetria	Curtose
Dlogboigordo	0,000389	0,034533	-0,03571	0,004672	-0,028311	8,912159
Dlogmilho	0,000072	0,073236	-0,08046	0,008559	0,568926	12,69316

Fonte: Elaboração própria.

Para o propósito de análise do risco de mercado, a Tabela 2 apresenta duas informações relevantes: o desvio-padrão e o coeficiente de curtose. O ativo de maior risco pela estatística é o milho, pois apresenta o desvio-padrão diário mais elevado. Além disso, ele é a *commodity* sujeita a oscilações mais extremas, apresentando o maior coeficiente de curtose. Ainda, ressalta-se que a estatística Jarque-Bera para as séries dos log-retornos do boi gordo e do milho rejeita a hipótese nula de que a distribuição da série dos log-retornos segue uma normal.

O coeficiente de curtose indica o grau que uma distribuição se aproxima de uma normal, sendo o coeficiente de uma gaussiana igual a três. A implicação de uma curtose elevada seria a alta probabilidade de ocorrência de retornos não captados pelo *Value at Risk* – que pressupõe a normalidade da série dos retornos. Essa característica das séries dos log-retornos das *commodities* pode ocasionar desequilíbrios no fluxo de caixa da operação de *hedging* durante o período projetado, ocasionando a interrupção da operação, ou seja, escassez de reservas para a sua continuidade. Dessa forma, o agente arcaria com mais custos para obter créditos adicionais no mercado.

Jorion (2003) afirma que o fenômeno da *leptocurtose* pode ser analisado sobre duas perspectivas. Pode-se considerar que a distribuição das séries dos log-retornos das *commodities* é estacionária e que os retornos fora da distribuição normal sejam considerados como *outliers*. A outra forma de avaliar as caudas grossas é considerar que a série não seja estacionária, variando em função do tempo. Dessa forma, a análise sobre o comportamento das séries dos log-retornos podem determinar o melhor estimador de volatilidade histórica a ser utilizado.

O teste Breusch-Pagan de heterocedasticidade aponta indícios de que as séries dos log-retornos do boi gordo e do milho apresentam o fenômeno da heterocedasticidade,

indicando a necessidade da utilização dos modelos de heterocedasticidade condicional – modelos da família ARCH. Constatada a existência deste fenômeno, o teste LM detecta a presença do efeito ARCH, evidenciando a necessidade de modelar a variância condicional das séries dos log-retornos das *commodities* com modelos do tipo ARCH.

Por fim, o teste Box-Pierce-Ljung de autocorrelação não rejeitou a hipótese nula de ausência de autocorrelação entre os termos de erro da distribuição das séries. Apesar de as séries dlogboigordo e dlogmilho apresentarem autocorrelação residual, argumenta-se que o aumento do número de defasagens não mudou o resultado do teste. Assim, optou-se por se utilizar o modelo mais parcimonioso. Utiliza-se o modelo GARCH (1,1), pois como demonstrado por Bollerslev (1986) estes modelo apresentam um melhor ajustamento para prever a variância condicional em relação aos modelos ARCH¹⁷. Além disso, Jorion (2003), Lima (2015) e Morettin (2011) recomendam a utilização de modelos parcimoniosos como o GARCH (1,1) para solucionar problemas de ajustamento.

4. 2 CUSTO FINANCEIRO DO *HEDGE*

A análise dos dados coletados possibilita a utilização de duas medidas de custo financeiro das operações de *hedge* com contratos futuros. Numa utiliza-se o estimador implícito de volatilidade, cujo objetivo é avaliar as expectativas dos agentes sobre o comportamento futuro da variável e o histórico, GARCH (1,1), para averiguar a sobrevalorização ou subvalorização da volatilidade implícita – verificar o quanto a expectativa de volatilidade se desviou da volatilidade realizada. Além disso, argumenta-se que a baixa liquidez das opções pode dificultar a utilização do estimador de volatilidade implícito como parâmetro de medida do risco de mercado. Dessa forma, o estimador histórico torna-se uma medida alternativa.

Na Tabela 3 estão os resultados do custo financeiro das operações de *hedge* do boi gordo com contratos futuros para vencimento em maio de 2015. Na primeira coluna estão expostos os intervalos de tempo em dias úteis para o vencimento do contrato, qual é dividido

¹⁷ Bueno (2011) argumenta sobre as dificuldades de ajustar os modelos GARCH em relação às variáveis defasadas, expondo que pode-se ajustar o modelo pelos testes usuais de especificação como o critério de informação de Akaike, Hannan-Quinn ou Schwarz.

em intervalos de 30 dias, gerando estimativas de 120, 90, 60 e 30¹⁸ dias do início da operação de proteção de preços até seu término que coincide com o vencimento do contrato. Na segunda coluna está exposta a taxa DI/Cetip diária acumulada, utilizada como taxa de juros referência, durante o período de duração da operação de *hedge*. Seleciona-se esta taxa porque ela serve como uma referência para o custo de capital dos agentes, sendo por um lado uma medida de empréstimo tanto quanto uma medida de remuneração de aplicações financeiras de curto prazo. Os casos de restrição e de intervenção governamental no mercado de crédito serão avaliados adiante. Na terceira coluna está à volatilidade implícita utilizada no cálculo do custo financeiro do *hedge* do boi gordo e na coluna seguinte o custo em reais por arroba. Da mesma forma que na quinta e na sexta coluna estão à volatilidade GARCH (1,1) e o custo financeiro do *hedge* do boi gordo com contratos futuros obtidos com este estimador em reais por arroba.

Tabela 3 - Custo financeiro do *hedge* do boi gordo (K-15) com contratos futuros com vencimento em maio de 2015

Δt	DI/Cetip	σ Implícito (%)	CFF Implícito (R\$/arroba)	σ GARCH (%)	CFF GARCH (R\$/arroba)
120	-	-	-	-	-
90	4,26	9,31	1,00	6,64	0,77
60	2,85	6,97	0,47	6,64	0,46
30	1,41	7,19	0,20	5,88	0,18

Fonte: Elaboração própria.

Para as três simulações realizadas, o custo financeiro das operações de *hedge* do boi gordo com contratos futuros, utilizando o estimador implícito é superior aos calculados pelo estimador GARCH (1,1). A diferença entre os custos financeiros dessas operações simuladas refletem a diferença do valor da volatilidade estimada pelos modelos implícitos e históricos. Portanto, os estimadores implícitos apresentam maior volatilidade se comparados com os históricos nos períodos analisados. Essa diferença ocorre pelo fato de que os estimadores implícitos captam as expectativas sobre o comportamento futuro da variável, e por esta razão, existe um grau mais elevado de incerteza, induzindo os agentes a cobrarem um prêmio de risco mais elevado. Outro fator que pode explicar a diferença entre a volatilidade histórica e a implícita é a baixa liquidez das opções sobre futuros das *commodities* selecionadas.

Na Tabela 4 observa-se o custo financeiro das operações de *hedge* do boi gordo com os contratos de opções sobre futuros com vencimento para maio de 2015. Na primeira coluna

¹⁸ Os espaços em branco significam que não houve opções negociadas no dia com o mesmo vencimento do contrato futuro. Dessa forma, a comparação entre o custo financeiro não pode ser realizada.

está o tempo de duração do contrato de opção até a data de vencimento, cujo período é coincidente com os dos contratos futuros apresentados na Tabela 3. Na segunda e terceira colunas estão a taxa DI/Cetip e a volatilidade implícita do boi gordo em seus respectivos períodos a exemplo da Tabela 3. O prêmio teórico das opções sobre futuros é calculado pela fórmula de Black (1976) e está na quarta coluna. Esses valores estão ajustados para que os prêmios das opções correspondam aos valores no-dinheiro. Essa suposição faz-se necessária para corresponder ao *trade-off* sob o qual o *hedger* está submetido no momento de executar uma operação de proteção de preços. Por fim, na última coluna está o custo financeiro das operações de *hedge* do boi gordo com os contratos de opções sobre futuros em reais por arroba.

Tabela 4 - Custo financeiro do *hedge* do boi gordo (K-15) com opções sobre futuros com vencimento em maio de 2015

Δt	DI/Cetip (%)	σ Implícito (%)	Prêmio Teórico (R\$/arroba)	CFO (R\$/arroba)
120	-	-	-	-
90	4,26	9,31	3,10	3,14
60	2,85	6,97	1,92	1,97
30	1,41	7,19	1,47	1,49

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 5, apresenta-se um resumo comparativo do custo financeiro das operações *hedge* do boi gordo com os contratos futuros e de opções sobre futuros. Nesse resumo compara-se o custo financeiro entre os instrumentos derivativos, utilizando-se o estimador implícito de volatilidade para calcular o risco de mercado. Optou-se por utilizar o estimador de volatilidade implícito porque são os valores obtidos diretamente dos preços praticados pelo mercado, refletindo as expectativas dos agentes. Além disso, trabalhos empíricos mostram evidências de que modelos de apreçamento que utilizam os estimadores de volatilidade implícitos apresentam melhor apreçamento em relação aos estimadores históricos¹⁹.

De acordo com a Tabela 5 nota-se que o custo financeiro da operação simulada de *hedge* de boi gordo para 90 dias com opções sobre futuros é 342,86 % maior do que o custo das operações efetivadas com contratos futuro. Nas operações de 60 e 30 dias o custo financeiro da operação de *hedge* com os contratos de opções sobre futuros é superior em 319,15 e 645%, respectivamente.

¹⁹ Tonin (2012)

Tabela 5 - Resumo comparativo do custo financeiro do *hedge* do boi gordo (K-15) com vencimento em maio de 2015

Δt	DI/Cetip (%)	σ Implícito (%)	CFE (R\$/arroba)	CFO (R\$/arroba)
120	-	-	-	-
90	4,26	9,31	0,70	3,14
60	2,85	6,97	0,47	1,97
30	1,41	7,19	0,20	1,49

Fonte: Elaboração própria.

Pela metodologia aplicada para quantificar o risco de mercado e assim o custo financeiro das operações com contratos futuros, espera-se que em condições normais de mercado, ao nível de significância de 99%, esta relação entre os custos financeiros dos contratos derivativos seja válida, pois sob essa perspectiva, o valor gerado pelo *Value at Risk* para quantificar o risco de mercado somado ao risco de encerramento é capaz de manter a operação de *hedge* líquida durante o horizonte de planejamento.

A partir daqui, analisa-se a hipótese de imperfeições no mercado de crédito e assim a influência das diversas taxas de juros de mercado no custo financeiro do *hedge* do boi gordo. Considerando a heterogeneidade dos agentes que podem se utilizar dos mercados de derivativos de *commodities*, essa análise busca mostrar se o custo dos recursos captados pode influenciar na seleção do contrato derivativo utilizado para o *hedge*.

Na primeira coluna estão expostas diversas modalidades de crédito pelas quais um *hedger* pode financiar uma operação de proteção de preços: recursos direcionados, DI/Cetip e recursos livres. Na segunda e terceira colunas estão o custo financeiro das operações de *hedge* do boi gordo e das opções sobre futuros de 30 dias. Na quarta e na quinta esses mesmos custos para as operações de 60 dias e na sexta e na sétima os custos para as operações de 90 dias.

Tabela 6 – Custo financeiro do *hedge* do boi gordo (K-15) com contratos futuros e opções sobre futuros para vencimento em maio de 2015 para diferentes modalidades de crédito

Dias	30		60		90	
Custos	CFE (R\$/arroba)	CFO (R\$/arroba)	CFE (R\$/arroba)	CFO (R\$/arroba)	CFE (R\$/arroba)	CFO (R\$/arroba)
Modalidades						
Direcionados	0,15	1,49	0,34	1,96	0,70	3,10
DI/Cetip	0,20	1,49	0,47	1,97	1,00	3,14
Livres	2,79	1,77	4,28	2,14	7,67	4,00

Fonte: Elaboração própria.

Pela análise da Tabela 6 percebe-se que para as operações de 30, 60 e 90 dias para as taxas de juros de recursos direcionados e DI/Cetip as operações com os contratos futuros são

as de menores custos. Nota-se que a variação do custo financeiro dos contratos futuros é maior se comparado com as opções sobre futuros, mostrando que embora o custo de carregamento das opções sobre futuros seja menor, o custo total da operação é mais elevado, conforme a escolha da fonte de financiamento da operação.

Entretanto, ao se utilizar as taxas de recursos livres como fonte de financiamento da operação de *hedge*, o resultado se altera, e as opções sobre futuros passam a serem os instrumentos de menor custo financeiro para o *hedge*. Assim, para taxas de juros elevadas o custo de carregamento de uma opção sobre futuros é menor que a tomada de um empréstimo bancário.

Na Tabela 7 estão os resultados do custo financeiro das operações de *hedge* do milho com contratos futuros com vencimento para maio de 2015. A disposição dos elementos nesta Tabela é idêntica à apresentada na Tabela 3, com os dados referentes ao custo financeiro das operações do *hedge* do boi gordo. Da mesma forma que o custo financeiro dos contratos futuros com estimador de volatilidade implícito é mais elevado pelas razões já discutidas. Embora os resultados sejam semelhantes aos encontrados com as operações de *hedge* do boi gordo com contratos futuros, a diferença entre a volatilidade implícita e GARCH (1,1) é mais acentuada, chegando a 217% na simulação de uma operação de 90 dias. Pela análise da Tabela 8 pode-se verificar o custo financeiro das operações de *hedge* do milho com vencimento para maio de 2015, utilizando-se os contratos de opções sobre futuros.

Tabela 7 - Custo financeiro do *hedge* do milho (K-15) com contratos futuros com vencimento em maio de 2015

Δt	DI/Cetip	σ Implícito (%)	CFF Implícito (R\$/saca)	σ GARCH (%)	CFF GARCH (R\$/saca)
120	5,68	32,85	1,03	16,57	0,58
90	4,20	33,63	0,66	10,58	0,27
60	-	-	-	-	-
30	1,39	31,99	0,13	10,51	0,06

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 8 - Custo financeiro do *hedge* do milho (K-15) com opções sobre futuros com vencimento em maio de 2015

Δt	DI/Cetip (%)	σ Implícito (%)	Prêmio Teórico (R\$/saca)	CFO (R\$/saca)
120	5,68	32,85	2,59	2,74
90	4,20	33,63	2,23	2,33
60	-	-	-	-
30	1,39	31,99	1,22	1,24

Fonte: Elaboração própria.

Em seguida, na Tabela 9 apresenta-se um resumo comparativo do custo financeiro das operações de *hedge* do milho entre os contratos futuros e os contratos de opções sobre futuros. Nela verifica-se que as operações com contratos futuros apresentam menores custos financeiro para todos os períodos simulados, utilizando o mesmo estimador de volatilidade – implícito. Pelos resultados apresentados, as operações com os contratos de opções sobre futuros apresentam custo financeiro superior em 166,02%, 253,03% e 853,85% para as operações de 120, 90 e 30 dias, respectivamente.

Tabela 9 - Resumo comparativo do custo financeiro do *hedge* do milho (K-15) com vencimento em maio de 2015

Δt	DI/Cetip (%)	σ Implícito (%)	CFF (R\$/saca)	CFO (R\$/saca)
120	5,68	32,85	1,03	2,74
90	4,20	33,63	0,66	2,33
60				
30	1,39	31,99	0,13	1,24

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 10 estão os resultados os resultados do custo financeiro do *hedge* com contratos futuros e opções sobre futuros para diferentes modalidades de crédito para as operações de 30, 90 e 120 dias. Os resultados são próximos aos encontrados para o boi gordo. Nas modalidades de crédito direcionado e referenciado na DI/Cetip, os contratos futuros são os instrumentos de menor custo financeiro e na modalidade de recursos livres as opções sobre futuros apresentam o menor custo financeiro para as operações de 90 e 120 dias, sendo que para este caso (recursos livres) na operação de 30 dias os contratos futuros continuam sendo o instrumento de menor custo financeiro.

Tabela 10 – Custo financeiro do *hedge* do milho (K-15) com contratos futuros e opções sobre futuros para vencimento em maio de 2015 para diferentes modalidades de crédito

Dias	30		90		120	
Custos	CFF (R\$/saca)	CFO (R\$/saca)	CFF (R\$/saca)	CFO (R\$/saca)	CFF (R\$/saca)	CFO (R\$/saca)
Modalidades						
Direcionados	0,10	1,24	0,47	2,30	0,71	2,69
DI/Cetip	0,13	1,24	0,66	2,33	1,03	2,74
Livres	1,22	1,38	3,99	2,80	5,74	3,41

Fonte: Elaboração própria.

Esse comportamento do custo da operação de 30 dias pode estar relacionado ao prêmio de risco de volatilidade que continua alto mesmo com a aproximação do término da operação. Enquanto que a volatilidade GARCH (1,1) recua de 16,57% para 10,51% do início

das operações de 120 dias para a de 30 dias, nesse mesmo período a volatilidade implícita mantém-se praticamente estável 32,85% e 31,99%.

Dessa forma, se apresenta evidências de que há diferenças no custo financeiro entre os contratos futuros e de opções sobre futuros. Embora os estimadores de volatilidade sejam importantes para determinar o custo financeiro das operações, a diferença nos custos dos contratos está relacionada às características específicas na formação dos preços de ambos. Enquanto o custo financeiro dos contratos futuros apresenta uma maior sensibilidade à taxa de juros, os contratos de opções sobre futuros têm seu custo relacionado ao prêmio de variação da volatilidade do ativo-objeto. Por esta razão, a diferença do custo financeiro dos contratos aumenta conforme diminui o tempo de duração da operação de *hedge*.

5. CONCLUSÕES

Os resultados da pesquisa apontam que o custo financeiro das operações de *hedge* com contratos futuros são menores se comparados aos das operações realizadas com opções sobre futuros para todas as *commodities* e para todos os estimadores de volatilidade, utilizando a taxa DI/Cetip e a taxa de juros de recursos direcionados da economia como referência para de captação de recursos. Ao se utilizar a taxa de juros de crédito de recursos livres, os contratos de opções sobre futuros são os instrumentos de menor custo para todas as *commodities*. Entretanto, para a operação de 30 dias da *commodity* milho, a manutenção de uma taxa de volatilidade implícita elevada em comparação com a volatilidade histórica próxima ao término da operação de *hedge* faz com que o custo financeiro dos contratos futuros ainda seja menor se comparado ao das opções sobre futuros. Isso pode ocorrer pela falta de liquidez no mercado de opções sobre futuros.

Desse modo, ao analisar os dados observa-se que o custo financeiro das operações de *hedge* pode ser um fator determinante para o agente realizar a escolha do instrumento que executará a estratégia de proteção de preços.

Portanto, este trabalho procura contribuir de três formas para a literatura do *hedge*. A primeira é propor um método de comparação dos custos entre os contratos futuros e de opções sobre futuros para que o *hedger* possa selecionar o tipo de contrato utilizando uma medida objetiva. A outra é permitir uma estimativa do custo financeiro do contrato futuro, que embora seja baseada em uma medida probabilística, pode ser comparada ao prêmio da opção

sobre futuros. E, por fim, ao considerar o custo financeiro do contrato futuro como uma operação de crédito e considerar as imperfeições neste mercado, que é uma hipótese factível no mercado de crédito brasileiro, constata-se que esta característica pode influenciar a preferências dos agentes quanto à escolha dos contratos derivativos.

Dessa forma, dentre as contribuições que esta pesquisa faz para a literatura, a consideração da hipótese de imperfeições no mercado de crédito é a que apresenta uma maior perspectiva para ser desenvolvida em pesquisas futuras. Os trabalhos citados que investigam como a participação dos custos alteram as razões ótimas de *hedge* consideram esses custos como sendo desprezíveis. Assim, pode-se verificar qual o efeito de se considerar as imperfeições no mercado de crédito brasileiro nas razões ótimas de *hedge* de *commodities* agropecuárias.

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, Carol. Volatility and correlation: measurement, models and application. In: ALEXANDER, Carol (Org). **Risk management and analysis: measuring and modelling financial risk**. 1 ed, 1996. pp. 125-172.

ALEXANDER, Carol. **Market risk analysis: Pricing, hedging and trading financial instruments**. John Wiley & Sons Ltd, 2008.

ANDRADE, E. A. P. de. **Mercados futuros: custos de transação associados à tributação, margem, ajustes e estrutura financeira**. 2004. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.

ANDRADE, E. A. P. de. **Influência dos custos de transação na razão ótima de hedge**. 2012. 97 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2012.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Operações de crédito – recursos direcionados – taxa de juros – pessoa física – (% a.a) - Notas Econômico-financeiras para a imprensa, Política Monetária e Operações de Crédito do SFN**. Brasília, DF, 2016. Disponível em <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 04 de jun. 2016.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Operações de crédito – recursos livres – taxa de juros – pessoa física – (% a.a) - Notas Econômico-financeiras para a imprensa, Política Monetária e Operações de Crédito do SFN**. Brasília, DF, 2016. Disponível em <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 04 de jun. 2016.

BECKERS, Stan. Standard deviations implied in option prices as predictors of future stock price variability. **Journal of Banking & Finance**. v. 5. pp. 363-381, 1981.

BLACK, Fisher; SCHOLES, Myron. The pricing of options and corporate liabilities. **Journal of Political Economy**. v.81. n. 3. pp. 1973.

BLACK, Fisher. The pricing of commodity contracts. **Journal of Financial Economics**. v.3. pp. 167-179, 1976.

BOLLERSLEV, Tim. Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. **Journal of Econometrics**. North-Holland, v. 31, pp. 307-327, 1986.

BOLSA DE VALORES DE SÃO PAULO. **BOI GORDO (contrato = 330 arrobas; cotação R\$/arroba)**. São Paulo, SP, 2016. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/servicos/market-data/historico/mercado-de-derivativos/resumo-estatistico/sistema-pregao/>. Acesso em 4 jun. 2016.

BOLSA DE VALORES DE SÃO PAULO. **Closeout risk evaluation: estrutura de avaliação de risco para contrapartes centrais**. São Paulo, 2011.

BOLSA DE VALORES DE SÃO PAULO. **Closeout risk evaluation: fórmulas e mapeamentos**. São Paulo, 2014.

BOLSA DE VALORES DE SÃO PAULO. **Maximum theoretical margin**. São Paulo, SP, 2016. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/en_us/services/market-data/reports/derivatives-market/indicators/maximum-theoretical-margin/>. Acesso em: 4jun. 2016.

BOLSA DE VALORES DE SÃO PAULO. **MILHO COM LIQUIDAÇÃO FINANCEIRA (contrato = 450 sacas; cotação = R\$/60kg)**. São Paulo, SP, 2016. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/servicos/market-data/historico/mercado-de-derivativos/resumo-estatistico/sistema-pregao/>. Acesso em: 4 jun. 2016.

BUENO, Rodrigo de Losso da Silveira. **Econometria de séries temporais**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

CENTRAL DE CUSTÓDIA E DE LIQUIDAÇÃO FINANCEIRA DE TÍTULOS. **TAXA DI – CETIP**. RIO DE JANEIRO, RJ, 2016. Disponível em: <<https://www.cetip.com.br/Institucional/estrutura-organizacional>>. Acesso em 4 de jun. 2016.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Indicador ESALQ/BM&FBovespa**. Piracicaba, SP, 2016. Disponível em: <<http://cepea.esalq.usp.br/boi/#>>. Acesso em: 3 jun. 2016.

CENTRO DE ETUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Indicador de preços do milho ESALQ/BM&FBovespa**. Piracicaba, SP, 2016. Disponível em: <<http://cepea.esalq.usp.br/milho/#>>. Acesso em: 3 jun. 2016.

COASE, R. H. The nature of the firm. **Economica**. Vol. 4. n° 16. 1937, pp. 386-405.

- DEMSETZ, Harold. The cost of transacting. **The Quarterly Journal of Economics**. V. 82, n. 1, 1968, pp. 33-53.
- ENGLE, Robert F. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom Inflation. **Econometrica**. v. 50, n. 4, p. 987-1007, jul/1982.
- FÖLMEER, Hans; LEUKERT, Peter. Quantile hedging. **Finance and Stochastics**. v. 3, n. 3, 1999, pp. 251-73.
- GUJARATI, Damodar N; PORTER, Dawn C. **Econometria básica**. Porto Alegre: AMGH, 2011.
- HULL, John. **Introdução aos mercados futuros e de opções**. São Paulo: Bolsa de Mercadorias & Futuros, 1996.
- HULL, John. **Options, Futures, and others derivatives**. New Jersey, Prentice Hall, 2006.
- JORION, Philippe. **Value at Risk**: a nova fonte de referência para a gestão do risco financeiro. São Paulo: Bolsa de Mercadorias & Futuros, 2003.
- KRAWIEC, Monika. Historical and implied volatilities: a review of methodology. **Quantitative Methods in Economics**. v. XIV, N. 1, 2013, pp. 304-16.
- LENCE, Sérgio H. Relaxing the assumptions of Minimum-Variance Hedging. **Journal of Agricultural and Resource Economics**. 1996. pp. 39-55.
- LIMA, Fabiano G. **Análise de riscos**. São Paulo: Atlas, 2015.
- MATTOS, Fabio *et al.* Relaxing standart hedging assumptions in the presence of downside risk. **The Quarterly Review of Economics and Finance**. 2008. pp. 78-93.
- MORETTIN, Pedro A. **Econometria financeira**: um curso em séries temporais financeiras. São Paulo: Bluncher, 2011.
- ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, **Managing risk in agriculture**: a holistic approach, 2009.
- TONIN, Julyerme M. Opções sobre contratos futuros de boi gordo na BM&FBovespa: apreçamento com fórmula de Black. In: 2º CONFERÊNCIA EM GESTÃO DE RISCO E COMERCIALIZAÇÃO DE *COMMODITIES*, 2012, São Paulo.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Risk Management May 2006**.

APÊNDICE A – Resultados estatísticos

Tabela 11: Testes de raiz unitária

	Termo	Estat.	1%	5%	10%	Prob
Teste Dickey-Fuller Aumentado de raiz unitária em nível						
Logboigordo	T	-1,2920	-3,9600	-3,4100	-3,1200	0,8898
Logmilho	T	-1,2370	-3,9600	-3,4100	-3,1200	0,9027
Teste Dickey-Fuller Aumentado de raiz unitária em primeira diferença						
Logboigordo	C	-41,050	-3,4300	-2,8600	-2,5700	0,0000
Logmilho	C	-38,014	-3,4300	-2,8600	-2,5700	0,0000
Teste Dickey-Fuller GLS de raiz unitária em nível						
Logboigordo	T	-2,0650	-3,4800	-2,8420	-2,5540	-
Logmilho	T	-1,6520	-3,4800	-2,8450	-2,5570	-
Teste Dickey-Fuller GLS de raiz unitária em primeira diferença						
Logboigordo	C	-27,417	-2,5800	-1,9520	-1,6280	-
Logmilho	C	-2,5560	-2,5800	-1,9540	-1,6310	-
Teste Phillips-Perron de raiz unitária em nível						
Logboigordo	T	-2,5160	-3,9600	-3,4100	-3,1200	0,3201
Logmilho	T	-2,3260	-3,9600	-3,4100	-3,1200	0,4197
Teste Phillips-Perron de raiz unitária em primeira diferença						
Logboigordo	C	-45,209	-3,4300	-2,8600	-2,5700	0,0000
Logmilho	C	-42,380	-3,4300	-2,8600	-2,5700	0,0000

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 12: Teste de heterocedasticidade Breusch-Pagan/Cook-Weinsberg

<i>Commodity</i>	Probabilidade
dlogboigordo	0,0000
dlogmilho	0,0000

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 13: Teste Box-Pierce-Ljung de Autocorrelação

<i>Commodity</i>	Estatística de Bartlett	Probabilidade
Dlogboigordo	2.551,4842	0,0000
Dlogmilho	1.483,7075	0,0000

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 14: Teste LM para heterocedasticidade condicional autorregressiva

Série	Estatística	Graus de Liberdade	Probabilidade
Dlogboigordo	404,151	1	0,0000
Dlogmilho	312,866	1	0,0000

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 15: Coeficientes das regressões GARCH (1,1)

Corte na série	α_0	α_1	β_1	h_t
Dlogboigordo 90	0,0000029	0,1577414	0,6771182	0,0000175
Dlogboigordo 60	0,0000029	0,1631144	0,6676015	0,0000151
Dlogboigordo 30	0,0000027	0,1358126	0,7294379	0,0000137
Dlogmilho 120	0,0000129	0,1823044	0,6486136	0,0001090
Dlogmilho 90	0,0000133	0,1810707	0,6482263	0,0000444
Dlogmilho 30	0,0000131	0,1810587	0,6494456	0,0000438

Fonte: Elaboração própria

APÊNDICE B – Risco de encerramento

O risco de encerramento advém do problema da administração de ativos sob a perspectiva de uma contraparte central, pois o problema de administração de risco que um *hedger* se defronta é diferente daquele que uma contraparte central possui. Enquanto o risco mais relevante para o *hedger* de *commodities* é o de mercado, uma contraparte central precisa considerar os riscos de crédito e de liquidez, além do risco de mercado.

A metodologia aplicada para mensurar o risco de encerramento na BM&FBOVESPA é dividida em três etapas: a primeira consiste em definir a estratégia de encerramento de uma carteira de ativos financeiros, a seguinte procura avaliar os riscos desse portfólio e por fim determinar as possíveis perdas permanentes e transientes.

Assim, a estratégia de encerramento define os volumes e os horizontes de tempo pelos quais os ativos financeiros devem ser negociados ou liquidados. Após ser definida a estratégia de encerramento, estima-se os riscos das maiores perdas através de cenários para um conjunto de variáveis financeiras. Por fim, é realizada a soma das perdas obtidas na etapa de avaliação de riscos levando em conta os processos de mitigação de risco de liquidez (BM&FBOVESPA, 2011, p.75).

BM&FBOVESPA (2011, p. 71-2) apresenta a função CORE como:

$$[RP; RT] = C(\Pi; \Psi(\Pi); \Lambda; \Omega(\Pi)) \quad (\text{B.1})$$

Onde: RP: risco referente às perdas permanentes; RT: risco relativo às perdas transientes; C (.): função CORE que calcula o risco das perdas transientes e permanentes; Π : carteira de ativos financeiros; Ψ : função de restrição da carteira de ativos financeiros; Λ : estrutura de liquidez que permite cobrir as perdas transitórias e Ω (.): função de cenários de uma carteira de ativos financeiros.

A equação CORE pode ser subdividida em três subfunções para realizar as etapas de mensuração do risco de encerramento:

$$XE = CE(\Pi; \Psi(\Pi); \Omega(\Pi)) \quad (\text{B.2})$$

$$XR = CR(XE; \Omega(\Pi)) \quad (\text{B.3})$$

$$[RP; RT] = CP(XR; \Lambda) \quad (\text{B.4})$$

Onde: XE: define a estratégia de encerramento da carteira; CE (.) é uma subfunção da CORE utilizada para determinar a estratégia de encerramento da carteira de ativos financeiros; XR: estima a variação da carteira de ativos financeiros para o intervalo de tempo e CP: subfunção CORE que determina as possíveis perdas transientes e permanentes.

As estratégias de encerramento de uma carteira buscam minimizar as perdas do portfólio durante a execução de seu encerramento, considerando as restrições dadas pelas características dos ativos financeiros e, ainda, respeitando um horizonte de tempo máximo para o término do processo de encerramento.

Na fase de avaliação dos riscos são construídos cenários para avaliar os fatores de risco relevantes da carteira de ativos financeiros para o intervalo de tempo estimado na estratégia de encerramento. Os cenários simulam duas trajetórias para cada fator de risco, sendo uma de alta e uma de baixa. Além disso, os fatores de risco são considerados como independentes.

Dessa forma, as perdas permanentes são a soma das perdas para cada fator de risco geradas pelos cenários. E as perdas transientes estão condicionadas à utilização de mecanismos de liquidez (BM&FBOVESPA, 2011).