

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Sociais Aplicadas
Programa de Pós-Graduação em Administração
Curso de Mestrado Acadêmico em Administração

TRICIA THAÍSE E SILVA PONTES

**PRECIFICAÇÃO DE OPÇÕES SOBRE CONTRATOS FUTUROS DE BOI GORDO
NA BM&FBOVESPA: UM ESTUDO DAS VOLATILIDADES**

João Pessoa - PB

2013



TRICIA THAÍSE E SILVA PONTES

**PRECIFICAÇÃO DE OPÇÕES SOBRE CONTRATOS FUTUROS DE BOI GORDO
NA BM&FBOVESPA: UM ESTUDO DAS VOLATILIDADES**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Administração no Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal da Paraíba.

Área de Concentração: Administração e Sociedade.

Orientador: Prof. Dr. Sinézio Fernandes Maia

João Pessoa - PB

2013

P814p Pontes, Tricia Thaíse e Silva.
Precificação de opções sobre contratos futuros de boi gordo na BM&BOVESPA: um estudo das volatilidades / Tricia Thaíse e Silva Pontes.--João Pessoa, 2013.
102f : il.
Orientador: Sinézio Fernandes Maia
Dissertação (Mestrado) – UFPB/CCSA/PPGA
1. Administração. 2. Agronegócio. 3. Mercado Futuro.
4. Precificação de opções. 5. Volatilidade.

UFPB/BC

CDU: 658(043)

TRICIA THAÍSE E SILVA PONTES

**PRECIFICAÇÃO DE OPÇÕES SOBRE CONTRATOS FUTUROS DE BOI GORDO
NA BM&FBOVESPA: UM ESTUDO DAS VOLATILIDADES**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Administração no Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal da Paraíba.

Área de Concentração: Administração e Sociedade.

Dissertação aprovada em: ____ / ____ / ____

Banca examinadora:

Prof. Dr. Sinézio Fernandes Maia
Orientador – UFPB

Prof. Dr. Márcio André Veras Machado
UFPB

Prof. Dr. Rodrigo José Guerra Leone
UNP

A Deus, por tudo! E aos meus pais por serem meu maior exemplo de vida e fonte de apoio em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho não seria possível sem o apoio e motivação que recebi ao longo desses dois anos de curso, dessa forma gostaria de manifestar meu sincero agradecimento a todos que contribuíram direta ou indiretamente para sua conclusão.

De modo particular, agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Sinésio Fernandes Maia pela paciência, conhecimentos transmitidos e principalmente pela confiança em mim depositada, mesmo quando fui a primeira a não acreditar que conseguiria.

Agradeço à minha família pelo apoio, presença e amor a mim dedicados, e principalmente aos meus pais que sempre me apoiaram em todas as minhas decisões mesmo não concordando com elas. Sem dúvidas, foram eles os maiores responsáveis por essa conquista, pois não tiveram apenas dois anos de trabalho e privações e sim uma vida inteira de muita luta e sacrifícios para que eu conseguisse chegar até aqui e para que eu possa ir além. Nada seria capaz de expressar minha gratidão por tudo que fizeram e fazem por mim até hoje.

Agradeço ainda a Fundação CAPES pelo financiamento dos meus estudos e ao PPGA de forma geral pela estrutura, funcionários e professores indispensáveis nesse processo.

Deixo um agradecimento especial a todos os meus amigos que não sabem, mas indiretamente me ajudaram a concluir esse trabalho. Muito obrigada pelas horas de conversas, risadas e sorvetes que tornaram essa fase muito mais leve.

O impossível, em geral, é o que não se tentou.

(Jim Goodwin)

RESUMO

O setor de carne bovina é um dos principais destaques do agronegócio brasileiro no cenário mundial, o recente processo de estabilização da economia, as vantagens de custos de produção com base em recursos naturais abundantes e poucas restrições ambientais têm garantido o crescimento e a competitividade do setor. Com a diminuição da intervenção governamental as políticas privadas de gestão de risco começaram a tornar-se uma preocupação entre os agentes envolvidos no agronegócio e também entre os agentes do setor de carne bovina que passaram a buscar formas de gerenciamento de risco, dentre elas os mercados futuros e de opções, a fim de garantir antecipadamente a lucratividade, reduzindo a exposição ao risco de oscilações dos preços. Em face à importância do setor de carne bovina, e a evolução apresentada pelos instrumentos derivativos, e o uso, ainda pouco expressivo, desses contratos para a administração do risco, buscou-se aplicar o modelo de precificação de opções sobre contratos futuros, desenvolvido por Black, à realidade do mercado futuro de boi gordo. O método consistiu em aplicar diferentes tipos de volatilidade (histórica, implícita e determinística) ao modelo de precificação de Black e em seguida realizou-se a análise de desempenho dos modelos por meio do cálculo dos erros. Foi encontrado que volatilidade histórica para as diferentes janelas móveis, subprecifica os valores dos prêmios negociados no mercado; enquanto que os modelos calculados com volatilidade EWMA e TARCH superprecificam os prêmios das opções. De modo geral o modelo de precificação com volatilidade histórica por janela móvel foi o que apresentou melhor desempenho nas análises realizadas. Os resultados foram avaliados ainda de acordo com os períodos de maturidade e os graus de *moneyness*, buscando proporcionar informações para que mais agentes tenham acesso a esses instrumentos familiarizando-se com os métodos de precificação existentes e assim melhorando a liquidez desse mercado.

Palavras-chave: boi gordo, mercado futuro, precificação de opções, volatilidade.

ABSTRACT

The beef sector is one of the main highlights of the Brazilian agribusiness in the global scenario, the recent stabilization of the economy, the advantages of production costs based on abundant natural resources and few environmental restrictions have ensured the growth and competitiveness of the sector. With decreasing government intervention, the policies private of risk management began to become a concern among those involved in agribusiness and also between agents of the beef sector that started to seek ways of managing risk, among them the futures markets and options, to ensure profitability by reducing exposure to the risk of price fluctuations. Given the importance of the beef sector, the developments presented by derivative instruments and use yet inexpressive these contracts for risk management, sought to apply the pricing model for options on futures contracts, developed by Black, to the reality of the beef cattle future market. The method consisted of applying different types of volatility (historical, implied and deterministic) to pricing model of Black and then held the performance analysis of the models by calculating the errors. The results show that historical volatility for the different windows mobile subpricing values prizes traded in the market, whereas the models calculated with EWMA and THARCH volatility superprecificam the option premiums. Generally the pricing model with historical volatility by moving window showed the best performance in analysis. The results were also evaluated according to the maturity periods and degrees of moneyness, seeking to provide information that most agents have access to these instruments familiarizing themselves with the existing pricing methods and thus improve market liquidity.

Keywords: beef cattle, futures markets, options pricing, volatility.

Lista de Tabelas

Tabela 1.1 - Mercado Agropecuário – Volume de Contratos Negociados de <i>Commodities</i>	24
Tabela 4.1 - Opções retiradas devido a ocorrência de vieses sistemáticos: opções muito próximas do vencimento e <i>outliers</i>	63
Tabela 4.2 - Classificação das Opções quanto à proximidade do dinheiro	63
Tabela 4.3 - Classificação das Opções quanto ao tempo de maturidade	64
Tabela 4.4 - Estatísticas Descritivas da Volatilidade Histórica	66
Tabela 4.5 - Coeficiente de correlação da volatilidade dos retornos em relação às demais variáveis utilizadas no modelo de precificação de opções de compra	67
Tabela 4.6 - Estatísticas descritivas da Volatilidade Implícita de acordo com a posição no dinheiro e o vencimento	69
Tabela 4.7 - Teste de Raiz Unitária para a Série de Retorno dos Preços do Boi Gordo	70
Tabela 4.8 - Resultados do Teste ARCH-LM	71
Tabela 4.9 - Estatísticas Descritivas das Volatilidades Determinísticas escolhida	72
Tabela 4.10 - Desempenho do Modelo com volatilidade histórica em relação à estimação dos Prêmios	73
Tabela 4.11 - Desempenho do Modelo com volatilidade EWMA e Determinística em relação à estimação dos Prêmios	73
Tabela 4.12 - Desempenho do Modelo com volatilidade histórica em ao nível de <i>Moneyness</i>	74
Tabela 4.13 - Desempenho do Modelo com volatilidade EWMA e Determinística em relação ao nível de <i>Moneyness</i>	75
Tabela 4.15 - Desempenho do Modelo com volatilidade EWMA e Determinística em relação ao período de maturidade	75

Lista de Gráficos

Gráfico 1.2 - Evolução do indicador do Boi Gordo ESALQ/ BM&FBOVESPA	22
Gráfico 4.1 - Evolução histórica dos Preços Futuros de Boi Gordo	59
Gráfico 4.2 - Retornos Diários da Série de Preços Futuros de Boi Gordo na BM&FBOVESPA	60
Gráfico 4.3 - Índice de <i>Moneyneess</i> das Opções de Compra sobre Contratos Futuros de Boi Gordo	62
Gráfico 4.4 - Padronização das variáveis pelo Teste de Grubbs para detecção de <i>Outliers</i> na Série <i>l</i>	62
Gráfico 4.5 - Volatilidades Históricas anualizadas calculadas por média móvel com janelas de 30 (VM30), 60 (VM60) e 90 (VM90) dias	65
Gráfico 4.6 - Volatilidades Históricas anualizadas calculadas pelo EWMA	66
Gráfico 4.7 - Volatilidades Implícitas (VOI) para as Opções de Compra	68
Gráfico 4.8 - Diferenças entre preços observados e os preços teóricos calculados utilizando-se a volatilidade histórica com janela de 90.	74
Gráfico 4.9 - Diferenças entre preços observados e os preços teóricos calculados utilizando-se a volatilidade EWMA.	74
Gráfico 4.10 - Diferenças entre preços observados e os preços teóricos calculados utilizando-se a volatilidade estimada TARCH.	74

Lista de Quadros

Quadro 01 - Mercado Futuro e a Termo	33
Quadro 02 - Contribuições que antecederam o modelo de Black e Scholes para precificação de opções	45

Lista de Figuras

Figura 1.2 - Estrutura da Cadeia Agroindustrial de Carne Bovina	20
Figura 2.3 - Convergência de preços nos mercados futuro e à vista	37
Figura 4.1 - Histograma e estatísticas descritivas básicas dos retornos sobre os preços futuros de Boi Gordo na BM&FBOVESPA	61

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABIEC – Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne

BM&F – Bolsa de Mercadorias e Futuros

BM&FBOVESPA – Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros

CDI – Certificados de Depósitos Interbancário

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada

CRR – Modelo Numérico de Cox, Ross e Rubinstein

ARCH – Autoregressive Conditional Heteroskedasticity

PIB – Produto Interno Bruto

RMSE – Raiz do Erro Médio Quadrático

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	16
	1.1RISCO ASSOCIADO AO SETOR DE CARNE BOVINA.....	16
	1.2 O MERCADO FUTURO DE BOI GORDO.....	19
	1.3PROBLEMA E JUSTIFICATIVA.....	24
	1.5 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	28
	1.5.1 Objetivo Geral.....	28
	1.5.2Objetivos Específicos.....	28
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	29
	2.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS DERIVATIVOS.....	29
	2.2 CONCEITUAÇÃO DE DERIVATIVOS.....	30
	2.2.1 Contratos a termo (<i>forward</i>) e Futuro.....	32
	2.2.2 Contratos de Opções.....	34
	2.3 EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS.....	36
	2.4 PRECIFICAÇÃO DE OPÇÕES: O MODELO BLACK E SCHOLES....	43
3.	METODOLOGIA.....	52
	3.1 FONTE DE DADOS.....	52
	3.2 OPERACIONALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS.....	52
	3.3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DOS MODELOS DE PRECIFICAÇÃO..	54
	3.4 CÁLCULO DA VOLATILIDADE HISTÓRICA.....	54
	3.5 CÁLCULO DA VOLATILIDADE DETERMINÍSTICA.....	55
	3.6 CÁLCULO DA VOLATILIDADE IMPLÍCITA.....	57
4.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	59
	4.1 ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS.....	59
	4.2 CÁLCULO DAS VOLATILIDADES.....	65
	4.2.1 Cálculo da Volatilidade Histórica.....	65
	4.2.2 Cálculo da Volatilidade Implícita.....	67
	4.2.3 Cálculo da Volatilidade Determinística.....	69
	4.3 PRECIFICAÇÃO DAS OPÇÕES.....	72
5.	CONCLUSÕES.....	78
	REFERENCIAS.....	80

APÊNDICE A - Modelos Numéricos de Precificação de Opções	91
ANEXO 1 - Contrato Futuro de Boi Gordo com Liquidação Financeira -	
Especificações.....	98

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, será apresentada a contextualização do tema que orientará o leitor quanto à necessidade de instrumentos de gestão do risco para os investidores. É apresentado um panorama atual do setor brasileiro de carne bovina, ao se destacar a importância deste ao agronegócio e à economia do país; serão introduzidos ainda alguns conceitos referentes ao mercado futuro desta mercadoria. O capítulo também contará com o objetivo geral e os específicos, problema e justificativa para a realização da pesquisa.

1.1 RISCO ASSOCIADO AO SETOR DE CARNE BOVINA

O agronegócio representa uma parcela importante do que é produzido nacional e mundialmente. O Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio brasileiro totalizou R\$ 942 bilhões em 2011, o que representa um avanço de 5,73%; crescimento superior ao da economia como um todo que foi de 2,7%. Devido a esses resultados positivos, a participação do agronegócio no PIB nacional aumentou de 21,78% em 2010 para 22,74% em 2011, de acordo com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Universidade de São Paulo (CEPEA/USP, 2012).

O crescimento da atividade agropecuária é limitado pelos inúmeros riscos inerentes a ela, tais como: o risco da produção esperada não ser alcançada devido a eventos relacionados ao clima ou a outros fatores como pragas; o risco de crédito; o risco operacional decorrente de falhas na execução de processos e tarefas da atividade e o risco de preço representado pela oscilação dos preços em sentido contrário ao interesse do agente no momento da comercialização. Desse modo, a gestão de riscos é crucial para que o agronegócio se mantenha estável e com retorno desejado, pois, ao mesmo tempo em que são muitas as incertezas, são escassas as iniciativas para administrá-las.

De forma semelhante, os agentes envolvidos na produção ou comercialização de carne bovina também estão sujeitos ao risco associado às flutuações de preço das mercadorias. Esse risco pode ser percebido quando o produtor engorda seus animais sem conhecer o preço pelo qual poderá vendê-los na época do abate. Quando chegar a data em que o boi será vendido, o produtor pode não encontrar no mercado um preço que remunere seu investimento ou nem mesmo seja capaz de cobrir seus custos.

Os frigoríficos também precisam de instrumentos de proteção contra o risco de variação dos preços. Ao fechar um contrato de exportação, os agentes sabem quanto receberão

em dólares pela carne exportada. A exportação, no entanto, só ocorrerá mais tarde. Se um frigorífico for embarcar a carne em março, por exemplo, deverá comprar o boi em fevereiro, porém, nesse período, os preços do produto poderão subir. Além disso, o frigorífico está exposto ao risco da taxa de câmbio se valorizar, visto que a carne será vendida em dólares, mas ao final aquele receberá em reais pela exportação (BM&F, 2006).

Para proteger-se dessas características associadas à atividade, produtores e compradores têm buscado instrumentos alternativos de gestão dos riscos, sendo, o principal deles, o mercado de derivativos. Hull (2005) define derivativo como instrumentos financeiros que têm seu valor fundado no preço de mercado de um ativo financeiro ou contrato negociado entre as partes em mercados à vista. São negociados, geralmente, sob a forma de contratos padronizados com termos que especificam a quantidade, qualidade, prazo de liquidação e a forma de cotação do ativo objeto sobre os quais se efetuam as negociações. Os derivativos têm, como principal função, a proteção contra o risco, sendo que os contratos mais comuns são os contratos a termo, futuros e opções.

Opções são contratos cujos retornos dependem do retorno de outro ativo (ativo-subjacente), são contratos que dão o direito de comprar ou vender um ativo a um preço pré-determinado, podendo ser exercidas até a data do vencimento da opção. Por esse direito, o titular (comprador) paga um prêmio ao lançador (vendedor) da opção (ROSS, 1976; STOLL; WHALEY, 1985).

Um contrato futuro, por sua vez, estabelece uma data futura para a entrega do ativo subjacente a um preço pré-determinado. Além disso, são realizados pagamentos intermediários que podem representar perdas ou ganhos, de acordo com a variação negativa ou positiva no valor diário das posições (comprada ou vendida) detidas pelos agentes. Dessa forma, tanto o mercado de opções, quanto o de futuro, configura-se como um seguro de preços para o investidor, em que o direito de compra ou de venda no futuro, a um preço determinado, é garantido pelo pagamento de um prêmio.

Outros instrumentos de proteção, ainda pouco utilizados quando se tratam de derivativos agropecuários, são as opções sobre futuros; tais mecanismos de proteção funcionam similarmente ao contrato de opção, o que os diferenciam é o fato de que o ativo subjacente da opção é um contrato futuro. Desta forma, um agente adquire de outro o direito de comprar ou vender contratos futuros de um ativo ou *commodity*, até ou em determinada data, por preço previamente determinado. Uma vantagem desse tipo de operação é que os custos de transação das opções sobre futuros geralmente são menores que as opções sobre ativos físicos (BRENNER; COURTADON; SUBRAHMANYAM, 1985; HULL, 2005).

Apesar de os agronegócios apresentarem participação significativa no que é produzido local e mundialmente, Marques, Mello e Martines (2005) ressaltam que os contratos agropecuários ainda representam uma parcela pequena do total de contratos negociados. Os autores acreditam que isso pode ser explicado, dentre outros fatores, pela falta de conhecimento do uso de derivativos dentro do agronegócio; o passado relativamente recente de intervenções governamentais no setor; e a falta de capital do produtor, que se vê obrigado a vender sua produção antecipadamente.

Com a diminuição da intervenção governamental, a partir da década de 90, as políticas privadas de gestão de risco começaram a ganhar destaque no Brasil, principalmente com os mercados futuros agropecuários. A criação da Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F), em 1991, estimulou ainda mais esse processo. Com sua integração com a Bovespa em 2008, passou a ser chamada de BM&FBOVESPA S.A. – Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros, e tornou-se o principal centro de gestão privada de risco do país, com a expansão das negociações de derivativos financeiros e agrícolas e o surgimento de um novo derivativo financeiro, as opções sobre contratos futuros.

Em 2011, os mercados derivativos registraram recorde de 671.979.899 contratos negociados, superando os 618.634.157 negociados em 2010. O volume financeiro alcançou R\$ 46,50 trilhões em 2011, ante R\$ 42,51 trilhões em 2010. Neste mesmo ano, a BM&FBOVESPA registrou 2.389.454 contratos futuros e de opções negociados sobre *commodities*, em 2010 esse número foi de 2.702.705. Apesar de os mercados de opções e futuro serem importantes ferramentas de gestão dos riscos de preços e de produção, eles ainda representam uma parcela pequena das negociações da BM&FBOVESPA. Em 2011, o mercado à vista compreendia 93,9% do volume financeiro; seguido pelo de opções, com 4,3%; e pelo mercado a termo, com 1,8% (BM&FBOVESPA, 2012).

Atualmente, a BM&FBOVESPA negocia contratos derivativos agropecuários de açúcar, boi gordo, café arábica, etanol, milho e soja. Dentre os contratos agropecuários negociados, o contrato de boi gordo apresenta grande representatividade, posto que chega a atingir 65,5% desses contratos em novembro de 2011. O Brasil se mantém como o segundo maior produtor de carne bovina do mundo, com 7,7 milhões de toneladas, sendo o primeiro em exportação com um total de 1,65 milhões de toneladas exportadas em 2011 (ABIEC, 2012). Apesar desses valores, foi observada uma queda no número de contratos negociados de futuros e de opções de boi gordo, passando de 1.352.469, em 2010, para 1.170.100 em 2011 (BM&FBOVESPA, 2012).

Em face à importância do agronegócio para a economia brasileira, especialmente o setor de carne bovina, e a evolução apresentada pelos instrumentos derivativos, é imprescindível que se apresente o funcionamento desses mercados, em especial o de futuro, e o uso, ainda pouco expressivo, desses contratos para a administração do risco, aplicando-os à realidade do mercado brasileiro.

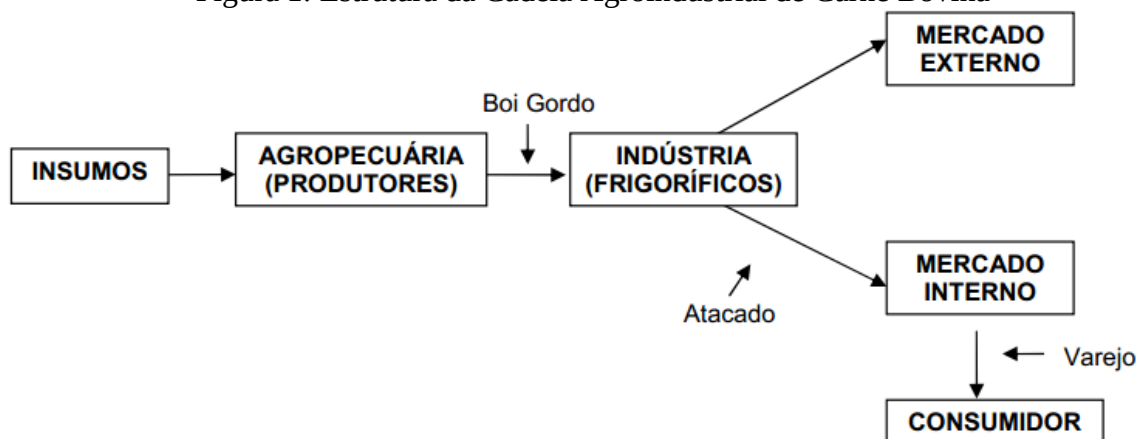
1.20 MERCADO FUTURO DE BOI GORDO

Com o processo de estabilização da economia, os preços da carne bovina deixaram de apresentar grandes oscilações, de modo que os rendimentos especulativos da atividade deixaram de ser atrativos. Além disso, a aplicação de técnicas modernas de produção e a utilização dos cruzamentos permitiram ao setor ganhos extraordinários de volume e produtividade, sendo determinantes para posicionar o Brasil em condição de destaque na produção de carne bovina (LUCHIARI FILHO, 2006).

A bovinocultura é um dos principais destaques do agronegócio brasileiro no cenário mundial. O Brasil é dono do segundo maior rebanho efetivo do mundo, com cerca de 200 milhões de cabeças. Além disso, desde 2004 assumiu a liderança nas exportações, com um quinto da carne comercializada internacionalmente e vendas em mais de 180 países. A exportação de carne bovina gerou para o Brasil um total de aproximadamente 5,4 bilhões de dólares em 2011. A crise europeia e a desaceleração da economia global têm reduzido a demanda por carne bovina brasileira, contudo, mesmo com o volume em queda, a receita não tem apresentado grandes alterações devido ao aumento dos preços em moeda nacional. (BRASIL, 2012).

A cadeia agroindustrial da carne bovina é composta basicamente por três agentes: o pecuarista (vendedor) responsável pela criação, recriação e engorda; os frigoríficos (processadores) com alto padrão tecnológico, capazes de atender a uma exigente demanda externa; e os distribuidores responsáveis pela chegada da mercadoria até o consumidor final, formado pelos atacadistas, varejistas ou exportadores. A figura 1.1 representa o resumo desse processo e as relações existentes entre os agentes e o mercado.

Figura 1: Estrutura da Cadeia Agroindustrial de Carne Bovina



Fonte: SCHUNTZEMBERGER (2010).

Buainain e Batalha (2007) destacam outro agente importante que exerce influência sobre essa cadeia agroindustrial, que pode ser representado pelo ambiente institucional. Tal ambiente refere-se, por exemplo, aos aspectos ligados ao comércio exterior, à evolução macroeconômica, a inspeção, a legislação e a fiscalização sanitárias, disponibilidade e confiabilidade de informações estatísticas, legislação ambiental, mecanismos de rastreabilidade e certificação, sistemas de inovação e outros relacionados à coordenação dos agentes, condicionam fortemente a dinâmica competitiva da cadeia.

A formação de preços para o boi gordo, assim como para toda *commodity* agropecuária, é baseada nas variações de oferta e demanda mundiais e nas especulações do mercado, tendo como fatores importantes para essa variação, os níveis de estoques mundiais, a situação climática, a época do ano e também a concorrência de produtos substitutos, como aves e suínos. Um dos fatores mais importantes para a formação do preço do boi gordo é o nível dos estoques mundiais. Quanto menores os estoques, mais altos são os preços. Outro fator que interfere nas cotações do boi gordo é a própria produção mundial; quanto maior ela for, menores serão os preços. Cada uma dessas variações tem um mecanismo próprio pelo qual o nível de preço será influenciado (GAIO; CASTRO JÚNIOR; OLIVEIRA, 2005).

Para Neves e Couto (1999), os preços da pecuária bovina de corte variam de acordo com dois ciclos diferentes. O primeiro está relacionado às variações sazonais que marcam os períodos “das águas” e “das secas”. Na região Centro-Sul do país, existe uma maior qualidade e quantidade das pastagens no primeiro semestre do ano; nessa época, os proprietários retêm o gado para um aumento de peso e ao atingir o ponto ideal para o abate ocorre a venda. Isso leva a uma maior oferta de animais e consequente queda das cotações nessa época do ano. No segundo semestre, com a queda na qualidade e quantidade das pastagens geradas pela “seca”,

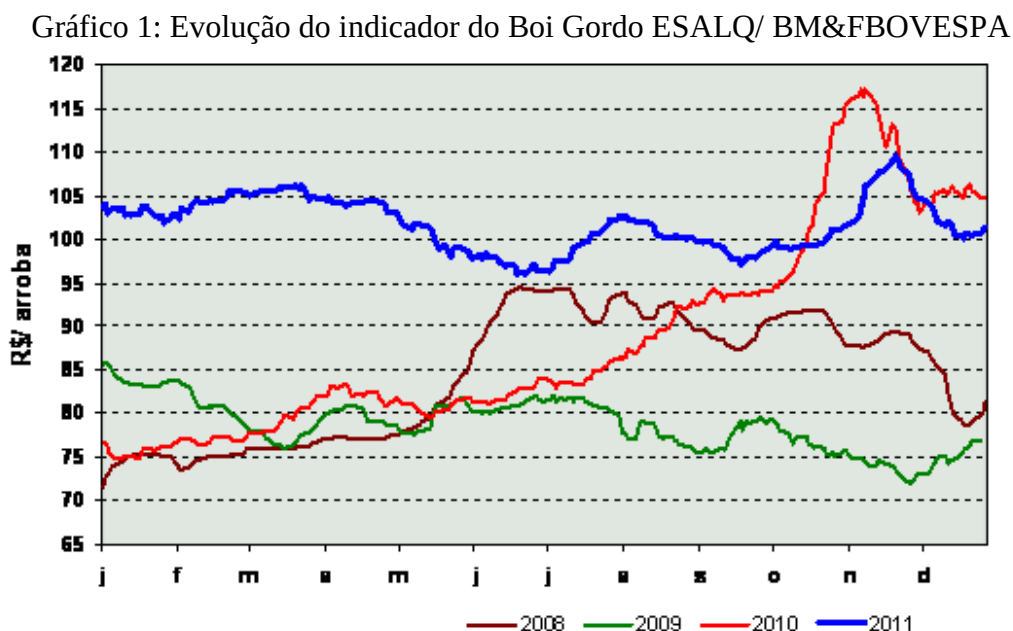
a oferta de animais para abate é reduzida, provocando um aumento nos preços. Dessa forma, a safra do boi ocorre no primeiro semestre, sendo, o segundo, o período de entressafra.

O segundo ciclo de preços da pecuária se refere ao ciclo plurianual, e está relacionado às expectativas dos agentes do sistema produtivo em relação ao preço do boi gordo no futuro. Sua duração varia entre cinco e seis anos, possuindo duas fases. A primeira se inicia quando existe uma tendência de queda nos preços do boi gordo. A partir deste fato, os participantes das etapas de produção formam expectativas pessimistas em relação aos preços em um momento futuro. Os criadores de animais com expectativa de queda nos preços acabam abatendo as matrizes, com o objetivo de minimizar o prejuízo futuro e cobrir seus custos. Em curto, prazo isso gera um aumento na oferta e, conseqüentemente, diminui ainda mais os preços. No longo prazo, a oferta de animais para reposição, e conseqüentemente a oferta de boi gordo, são reduzidas devido ao abate das matrizes realizado anteriormente. Com a diminuição da oferta, inicia-se a segunda fase do ciclo plurianual. As expectativas de preços formadas pelos agentes se alteram completamente, o que leva a um processo de ascensão dos preços. A elevação dos preços começa a ser percebida geralmente após dois ou três anos do início dessa fase. (NEVES; COUTO, 1999; IGREJA, 1987; KASSOUF, 1988).

Cada ciclo começa quando o preço do boi gordo, após atingir o preço mínimo de uma série decrescente, inicia uma trajetória de crescimento e posterior decréscimo acentuado. O mercado futuro funciona como um mecanismo de compensação para essas variações de preços no mercado físico ou à vista. Se houver desvalorização nos preços do mercado à vista (hipótese em que se verifica uma queda dos preços quando do encerramento da posição a futuro), o pecuarista, vendedor de contratos futuros, receberá a diferença de preços no mercado futuro, compensando-se da perda incorrida no físico. Se ocorrer o contrário (hipótese de alta nos preços quando do encerramento da posição a futuro), o pecuarista vendedor de futuros terá obtido ganho no mercado à vista e perda equivalente no mercado futuro. Em ambos os casos, o mercado futuro funciona como um seguro, garantindo ao participante o preço inicialmente planejado (BM&F, 2006).

No Brasil, utiliza-se como parâmetro para a tomada de decisões o preço da arroba do boi gordo na BM&FBOVESPA, o qual é determinado, essencialmente, pelo Indicador do preço à vista ESALQ/BM&FBOVESPA. Este indicador é uma média ponderada dos preços observados para o boi gordo no estado de São Paulo, reflexo das interações entre oferta e demanda por boi gordo (OLIVEIRA *et al.*, 2006). O Gráfico 1 mostra a evolução dos preços à vista do boi gordo, por meio do indicador de preços ESALQ/BM&FBOVESPA para os anos

de 2008, 2009, 2010 e 2011. Através do gráfico é possível notar que o preço do boi está passando por um processo de desaceleração.



Fonte: Cepea/Esalq (2012).

No ano de 2011, o preço do boi gordo se manteve com valores elevados, continuando o ritmo da entressafra do ano anterior. Em meados do ano, no entanto, os efeitos da crise econômica externa e a desaceleração da economia brasileira começaram a pesar sobre os preços do setor que, em grande parte do segundo semestre, foram menores que no primeiro. Isso pode ser explicado pelo fato dos custos do primeiro semestre de 2010, especialmente aqueles relacionados à atividade de confinamento, terem levado a decisões que proporcionaram resultados bastante positivos, tendo em vista que os preços de venda obtiveram uma excelente recuperação no segundo semestre daquele ano. Em 2011, as decisões sobre a programação de animais que seriam ofertados no segundo semestre se deram num cenário de custos de produção elevados e com poucas perspectivas de avanços da demanda, e, conseqüentemente, dos preços (CEPEA, 2012).

Conforme já foi mencionado anteriormente, a fim de se proteger dessas variações nos preços inerentes à atividade, os produtores de boi gordo podem recorrer ao mercado futuro e, dessa forma, fixar um preço que garanta a reposição de seu custo de produção e algum retorno. O produtor ou investidor adquire um contrato que pode ser de compra ou de venda futura da *commodity* a um preço determinado. O contrato de boi gordo (ANEXO 1: Contrato Futuro de Boi Gordo com Liquidação Financeira - Especificações) define o ativo-objeto de

forma precisa, com todas as suas características: os meses de vencimento; o mecanismo de cotação de preços; os limites de oscilação diária de preços e de tomada de posição, que visam a formar barreiras à especulação; a definição das margens de garantia; custos de corretagem e a forma de liquidação.

O contrato futuro de boi gordo foi comercializado pela primeira vez em 1964, na *Chicago Mercantile Exchange* (CME), sendo o primeiro contrato futuro do mundo sobre uma *commodity* não armazenável. No Brasil, este contrato é transacionado desde 1980. Naquela época, ainda era negociado pela Bolsa de Mercadorias de São Paulo (BMSP) e sua liquidação ocorria por entrega física, o que gerava uma série de problemas tais como (ROCHELLE; FERREIRA FILHO, 2000):

- a) Alto custo de entrega;
- b) Conflitos associados à classificação do boi gordo durante a entrega;
- c) Baixa liquidez do mercado futuro de boi gordo, muitos agentes não tinham interesse no produto físico e acabavam ficando com medo de participar do mercado;
- d) Flutuações nos preços no mercado à vista, causadas pela antecipação das expectativas dos negociadores em entregar ou receber o ativo;
- e) Possibilidade de estrangulamento devido à baixa liquidez do mercado.

Tendo em vista esses problemas causados pela liquidação por entrega e com o objetivo de tornar o contrato mais útil aos agentes, em 1994, já na BM&F, o contrato sofreu alteração em sua forma de liquidação. O contrato, anteriormente liquidado por entrega física, passa a sê-lo, financeiramente, com base no Indicador de Preço Disponível do Boi Gordo Esalq/BM&FBOVESPA. Uma nova alteração no contrato foi realizada no ano 2000, em que sua moeda de referência de cotação passou de dólares para reais, em função do preço do boi ser determinado no mercado interno. Essas mudanças, aliadas à estabilização monetária obtida com o Plano Real, foram percebidas no aumento do volume de contratos negociados, passando de 5,7 mil contratos, em 1994, para 150,4 mil contratos negociados em 2000 (BM&F, 2006).

Atualmente, o contrato futuro de boi gordo possui posição majoritária nas negociações, representando 47,61% do total de contratos de *commodities* negociadas na BM&FBOVESPA em 2011. No que se refere às opções sobre contratos futuros, objeto de estudo desta pesquisa, o boi gordo também mantém a liderança, posto que representa 45,27% das opções sobre futuros agropecuários com 11.719 contratos negociados no ano de 2011.

Tabela 1: Mercado Agropecuário – Volume de Contratos Negociados de *Commodities*

	Número de contratos				
	2011	2010	2009	2008	2007
1. Futuros Agropecuários	2.048.477	2.308.736	1.935.136	3.099.962	2.123.942
Boi gordo	975.362	1.153.782	835.722	1.633.113	934.422
Café Arábica	458.804	674.006	645.199	747.765	724.319
Milho	464.387	364.345	285.822	411.025	207.724
Soja	37.465	0	168.168	284.382	188.279
Etanol Hidratado	81.725	20.925	1	16.608	18.614
Açúcar Cristal	-	-	224	7.039	45.112

Fonte: BM&FBOVESPA (2012).

Com base na evolução vivenciada pelo mercado futuro de boi gordo nas duas últimas décadas, a importância reconhecida dos derivativos para a gestão de riscos e desenvolvimento do setor; e, por outro lado, o potencial pouco explorado desses instrumentos, em especial as opções sobre contratos futuros, para se proteger do risco de preços, que reflete o desconhecimento dos modelos de precificação de derivativos por parte dos agentes envolvidos, necessita-se de uma análise mais detalhada sobre o assunto para um melhor entendimento desse cenário.

1.3 PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

A maior dificuldade encontrada na negociação de opções está na determinação de seus prêmios. O prêmio, ou preço da opção, é pago pelo titular em troca do direito adquirido, e recebido pelo lançador da opção como recompensa pelas obrigações assumidas. Reflete fatores como a oferta e a demanda, a diferença entre o preço de exercício e o preço à vista, o tempo de maturidade da opção, a volatilidade e a taxa de juros livre de risco. Vários modelos matemáticos foram desenvolvidos com o intuito de se calcular o prêmio a ser pago em um contrato de opção, dentre os quais se destacam os modelos baseados em árvores, equações diferenciais e alguns modelos fechados cuja fórmula mais conhecida e utilizada foi desenvolvida por Fisher Black e Myron Scholes em 1973.

Usando os pressupostos da fórmula de precificação original, Black (1976) encontrou fórmulas para o preço futuro de opções de *commodity*, considerando-as semelhantes à opção de um título que paga dividendos contínuos. O preço de um contrato de *commodity* é escrito como função apenas do correspondente preço futuro e do tempo. A fórmula foi aplicada às opções de *commodity* europeias, que só podem ser exercidas na data de vencimento. Nesse caso, o investimento no contrato futuro é zero, deixando o fator taxa de juros fora da fórmula. A partir desta fórmula, vários autores têm se dedicado a desenvolver modelos de precificação

de *commodities* futuras, entretanto, a utilização desses instrumentos de precificação ainda é escassa em *commodities* agropecuárias.

Vários estudos empíricos têm sido realizados para avaliar a aplicabilidade dos modelos de precificação de opções e a possibilidade de efetuar *hedge* no mercado financeiro brasileiro. Klotzle *et al.* (2011) examinaram a efetividade do *hedge* para o mercado de dólar comercial, caracterizado por sua grande volatilidade, e descobriram que houve uma melhoria significativa na efetividade do *hedge* quando utilizaram os modelos GARCH. Fernandes (2009) aplicou esquemas de diferenças finitas ao modelo de Black e Scholes para simular a determinação do preço de opções europeias e americanas, e encontrou, nos resultados, uma aproximação bastante razoável quando comparada com os verdadeiros preços praticados no mercado.

A maioria dos trabalhos encontrados testa a aplicação do modelo de Black e Scholes ou o utiliza para fazer *benchmarking* com outros modelos. Rodrigues (2006) testou a hipótese da utilização do modelo numérico não-Gaussiano, proposto por Borland (2002), baseado em simulações, apresentar vantagem sobre o modelo Black e Scholes para a precificação de opções. No entanto, os resultados obtidos com esse método não se mostraram satisfatórios quando comparados com os resultados do modelo Black e Scholes.

No que se referem ao mercado futuro agropecuário, muitos trabalhos têm se dedicado ao mercado futuro de café, analisado sob os mais diversos aspectos. Ramos da Silva (2003) concluiu que o melhor método a ser utilizado na precificação de opções no modelo de Black e Scholes é o da volatilidade implícita para as opções de compra, ao passo em que, para as opções de venda, a volatilidade implícita gera prêmios acima dos praticados no mercado. Resultado semelhante também foi encontrado por Silva e Maia (2011) que aplicaram três métodos diferentes de extração da volatilidade ao modelo de Black e Scholes e ao comparar o preço teórico calculado aos prêmios observados no mercado, encontraram que a volatilidade implícita apresenta melhor desempenho, com erros de precificação consideravelmente baixos.

Um estudo mais amplo foi realizado por Tonin (2010) que estabeleceu um comparativo entre os modelos de precificação de opções da “família” Black e Scholes e os modelos numéricos baseados em árvores para analisar a aplicabilidade de cada um. Ao comparar os valores teóricos obtidos nos modelos com os preços efetivos praticados no mercado de opções sobre contrato futuro de café arábica, não foi encontrado o melhor modelo de precificação, mas sim um modelo mais adequado sob condições específicas do mercado, sendo os resultados da precificação influenciados principalmente pela escolha da volatilidade.

Para o mercado futuro de boi gordo, as iniciativas nesse sentido ainda são escassas: as pesquisas concentram-se principalmente em aspectos de funcionamento e eficiência do mercado futuro sem focar na precificação dos contratos. Abitante (2008) verificou a existência de uma ligação estatística de longo-prazo entre o mercado físico e o mercado futuro das *commodities* boi gordo. Os resultados mostraram que o mercado futuro pode fornecer informações que auxiliem os produtores no processo de descoberta de preço, e também permitem analisar a eficiência com que o mercado futuro pode predizer o preço *spot*.

Os trabalhos de Gaio *et al.* (2006, 2007) focaram nos processos de gerenciamento de riscos e previsão do preço do mercado futuro de boi gordo por meio de diferentes técnicas. No primeiro, foi realizado um estudo que aplicou técnicas de volatilidade determinística aos retornos do boi futuro. Os resultados mostraram que este mercado é susceptível às reações de persistência e assimetria na sua volatilidade, o que significa que as variações dos retornos sofrem impactos diferentes para boas e más notícias. O segundo trabalho comparou modelos de previsão de preço, utilizando modelos baseados em redes neurais e ferramentas estatísticas de modelagem de séries heterocedásticas. Os resultados sugerem que essas técnicas podem ser usadas pelos investidores dos mercados de derivativos que queiram mensurar seus riscos, o que pode levar ao aumento no volume de negociações de contratos futuros pela redução da incerteza.

O principal ponto em comum nos estudos citados acima é a tentativa de fornecer uma ferramenta para gerenciar risco. Uma boa gestão de riscos pode ajudar a eliminar o efeito causado pela volatilidade dos preços e, dessa forma, tornar o mercado futuro e de opções uma alternativa mais atrativa para realizar investimentos. Abussamra (2006) acredita que, apesar de os modelos de gestão de risco de mercado terem sido inicialmente desenvolvidos para organizações financeiras, eles apresentam várias possibilidades de aplicações no agronegócio, devendo ser exploradas.

Assim como para as demais mercadorias agropecuárias, a negociação de contratos futuros de boi gordo tem a administração do risco relativo às oscilações adversas de preços (volatilidade) como um componente fundamental. Diante do grande potencial que os mercados de opções e de futuros ainda têm a ser explorado, bem como o importante papel que esta mercadoria representa para o desenvolvimento do setor, fazem-se necessários estudos que abordem análises relacionadas à eficiência das operações e auxiliem na tomada de decisão dos participantes do mercado de opções e futuros, ainda pouco explorados.

O presente estudo, ao partir de seu tema geral, que é a gestão de risco para a precificação de opções sobre futuros, busca responder o seguinte questionamento: **Como se**

dá o desempenho do modelo teórico de Black para precificação de opções sobre futuro quando aplicado ao mercado futuro de boi gordo?

Para obter uma resposta mais robusta que permita auxiliar a tomada de decisões, serão analisados alguns métodos de extração da volatilidade (histórica, implícita e determinística pertencentes a “família” ARCH) aplicados ao modelo de Black (1976) para a precificação de *commodities*.

1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.4.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho do modelo de Black aplicado à precificação de opções sobre contrato futuro de boi gordo negociadas na BM&FBOVESPA.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Estimar o modelo de precificação de opções sobre o mercado futuro;
- Estimar a volatilidade ideal para precificação de opções no mercado futuro;
- Identificar a relação entre o preço observado no mercado com o preço teórico obtido pelo modelo de precificação de opções.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A gestão de riscos encontra, nos derivativos e em seus modelos de precificação, uma importante ferramenta capaz de informar o quanto de risco se está assumindo, de forma a ajudar a decidir o preço justo pago por eles. Desse modo, este capítulo apresenta os principais conceitos envolvidos nas operações com derivativos ao focar na precificação de opções; busca-se, ainda, evidenciar a evolução e as principais abordagens de precificação de opções sobre contratos futuros.

2.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS DERIVATIVOS

Acredita-se que as primeiras formas de derivativos tenham sido negociadas por volta do ano de 580 a.C.; tem-se, nessa época, o primeiro registro escrito de uma negociação de opções, na qual Thales de Mileto comprou opções de lagares de azeite e fez fortuna fora da safra de azeitonas. Em 1570, foi aberta a primeira bolsa para negociação de derivativos, a Royal Exchange, em Londres, que negociava contratos a termo. Os primeiros contratos futuros dos quais se tem notícia foram negociados por volta de 1650, no Japão, para o mercado de arroz. As operações com esses produtos eram organizadas em lugares específicos, que seriam como uma espécie de Bolsa de Mercadorias bastante rudimentar. (CHANCE, 1995).

A criação da *Chicago Board of Trade* (CBOT), em 1848, foi um acontecimento bastante significativo para o desenvolvimento do mercado de derivativos. Nesse período, houve um movimento de centralização do armazenamento, venda e distribuição de grãos em Chicago, no entanto, as instalações não estavam sendo suficientes, e os preços à vista variavam drasticamente. Para controlar a situação, um grupo de comerciantes de grãos criou o contrato "*to-arrive*", que permitia, aos agricultores, travar o preço e entregar o grão mais tarde. Esses contratos tornaram-se um dispositivo para realizar *hedging* e especular sobre as mudanças de preços. A venda e entrega do grão em si deixavam de ser prioridade diante da capacidade de transferir o risco de preço associado ao grão (GIRISH, 2010).

Em meados de 1850, Russel Sage, importante financista de New York, criou um mecanismo capaz de contornar as leis da usura por meio dos princípios de compra e venda (*call – put*). Sage comprava ações e uma *put* a um cliente e vendia uma *call* ao cliente. Os preços da *put* e da *call* eram fixados de forma a forçar o cliente a vender a ação de volta a um preço que garantia a ele um ganho na taxa de juros mais alto do que as leis de empréstimo

seguiam. Em 1865, a CBOT registrou os primeiros contratos futuro padronizados, e, em 1925, foi formada a primeira câmara de compensação de futuros, o que tornou os contratos futuros praticamente da forma que são hoje.

No Brasil, assim como no resto do mundo, o desenvolvimento dos derivativos está intimamente ligado ao surgimento e evolução das Bolsas. O uso de derivativos por meio de operações padronizadas, no Brasil, teve início no ano de 1917, com a criação da Bolsa de Mercadorias de São Paulo, a BMSP. As primeiras negociações realizadas nesta bolsa foram operações a termo de *commodities* agrícolas, alcançando, ao longo dos anos, tradição na negociação de contratos agropecuários. Em 1985, surge a Bolsa Mercantil & de Futuros, a BM&F, que, em pouco tempo, conseguiu conquistar uma posição invejável entre as principais bolsas de *commodities* do mundo, negociando contratos futuros, de opções, a termo e à vista, referenciados em índices de ações, ouro, taxas de juros e taxas de câmbio.

Em 1991, é realizado um acordo entre a BM&F e a BMSP, unindo suas atividades; surge, então, a Bolsa de Mercadorias & Futuros (mantém a sigla BM&F) com o objetivo de desenvolver mercados futuros de ativos financeiros, agropecuários e outros. Apareceu, neste ano, pela primeira vez, no ranking das dez maiores bolsas de futuro e opções do mundo. Em 1997, a Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F) e a Bolsa Brasileira de Futuros (BBF) celebram um acordo para unir suas atividades, com o objetivo de consolidar-se como o principal centro de negociação de derivativos do MERCOSUL.

Outro fato que marcou, não só o desenvolvimento dos derivativos como a gestão de risco como um todo no Brasil, foi a fusão da Bovespa Holding S.A. (BOVESPA) com a Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F) em 2008, criando a Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros – BM&FBOVESPA, com a fusão torna-se uma das maiores bolsas do mundo e a segunda maior das Américas, em valor de mercado.

2.2 CONCEITUAÇÃO DE DERIVATIVOS

Os derivativos funcionam como importantes ferramentas de proteção e gestão do risco, sendo definidos como instrumentos financeiros que têm por base um ativo ou contrato (ativo subjacente) negociado entre as partes em mercados organizados. Os derivativos mais comuns são os contratos a termo (*forward*), contratos de opção e contratos futuros. O agente que investe em derivativos pode assumir uma posição comprada (*long*) ou uma posição vendida (*short*) de acordo com sua posição líquida em determinado vencimento. Se o número de contratos vendidos for maior que o número de contratos comprados, sua posição será

vendedora (*short*); caso contrário, a posição será compradora (*long*). É importante frisar que a posição líquida é fixada para um único vencimento do mesmo contrato (HULL, 2005).

As finalidades do investimento em derivativos são muitas, podendo ser usado para três propósitos principais: *hedging*; especulação e arbitragem. O *hedge* (cobertura) tem como objetivo proteger o agente do risco. Para Ederington (1979) o processo de *hedging* consiste em assumir, no futuro, uma posição oposta à que se tem no mercado à vista, no entanto, com a mesma magnitude. Essa decisão faz parte da Teoria Tradicional do *Hedging*, cujo argumento é o de que os preços à vista e futuro se movem ao mesmo tempo e na mesma direção, desse modo, a preocupação do *hedger* está em minimizar os riscos e não em obter retorno, o ganho ou perda que possa ocorrer com a operação é para ele inesperado.

A operação de cobertura de riscos do produtor (no caso do mercado de *commodities*) ou do agente que tenha uma posição comprada no mercado à vista é denominada de *hedge* de venda. O risco desse agente consiste na queda dos preços; para proteger-se desse risco, ele deve efetuar uma operação de venda nos mercados de derivativos. No caso do transformador (também, no mercado de *commodities*) ou de todo agente com posição vendida no mercado à vista, a operação de cobertura é chamada de *hedge* de compra, já que seu risco é de uma alta dos preços contra o qual ele se protege assumindo posição comprada nos mercados de derivativos. (FARHI, 1999).

Por outro lado, a teoria anteriormente proposta por Working (1953), considera o *hedging* semelhante à especulação, pois os agentes realizam a compra ou venda de futuros, mantendo posições em dois mercados na expectativa de uma mudança favorável na relação entre preços à vista e futuro, maximizando sua expectativa de retorno. Kaldor (1939) definiu especulação como a compra (ou venda) de bens com o objetivo de revenda (recompra) em uma data posterior, com a expectativa de uma mudança nos preços e não em ganhos resultantes da sua utilização, ou qualquer tipo de transformação ou transferência realizada entre diferentes mercados. A grande diferença entre as compras e vendas especulativas e os outros tipos de compras e vendas, como o *hedge*, está na expectativa de uma mudança iminente no preço de mercado como o único motivo para a ação.

A terceira estratégia mais comumente usada nas decisões com derivativos é a arbitragem, definida por Sharpe e Alexander (1990) como a compra e venda simultânea de um mesmo ativo, ou essencialmente similar, em dois mercados diferentes para obter vantagem com a diferença de preços, ou seja, compra-se o ativo no mercado em que é cotado mais barato e vende-se no mercado com maior cotação. Esse tipo de operação não requer capital e nem acarreta riscos.

Nesse contexto, enquanto os *hedgers* querem evitar oscilações adversas de preço, os especuladores assumem o risco devido à possibilidade de obter retornos, levando em consideração sua expectativa quanto aos preços futuros, e os arbitradores buscam ganhos com a diferença de preços entre mercados distintos. O fato de os especuladores abrirem e encerrarem suas posições a todo o momento faz com que o volume negociado aumente, trazendo liquidez para o mercado. As funções de uns complementam as de outros em uma relação ativa e permanente, garantindo força e liquidez ao mercado de derivativos.

2.2.1 Contratos a termo (*forward*) e futuro

Hull (2005) define um contrato a termo como um compromisso que as partes assumem de comprar e vender um ativo por determinado preço em certa data futura. Uma característica especial desse tipo de contrato é que a negociação não ocorre em bolsa padronizada: os acordos são firmados entre as partes no que se chama “mercados de balcão”. Um investidor que compra um contrato a termo concorda em comprar uma unidade de um bem em uma data futura especificada, chamada data de vencimento. O preço ao qual a compra será mantida é chamado de preço *forward*. Este preço é determinado no contrato, e não sofre alterações durante o tempo de maturidade (RICHARD; SUNDARESAN, 1981).

Diferente do preço que permanece constante, o valor de um contrato a termo flutua entre o tempo em que é escrito e o tempo de vencimento. Quando o contrato é escrito, ele não tem valor, mas no vencimento, o investidor pode realizar um lucro (ou perda) igual à diferença entre o preço à vista de uma unidade do bem e o preço a termo contratado. Esse valor irá flutuar porque o valor do direito de comprar ao preço escrito no contrato se altera com as mudanças ocorridas no preço à vista.

Os contratos futuros evoluíram a partir dos contratos a termo, por isso possuem características semelhantes, e são algumas vezes confundidos. Além da negociação em bolsa, o ajuste diário no valor das posições diferencia um contrato futuro de um *forward*. Abaixo, o Quadro 1 sintetiza as principais diferenças entre os dois contratos.

Quadro 01: Mercado Futuro e a Termo

Características	Futuro	Termo
Local de Negociação	Bolsas de Futuro	Bolsas de cereais ou balcão
Padronização	Definida pela bolsa	Definida entre as partes
Continua...		
Prazo	Vencimento padronizado nas bolsas	Definida entre as partes ou usuários do mercado
Liquidação	Financeira ou física	Física
Operadores	Profissionais (priorizam a entrega)	Normalmente usuários finais (priorizam a flexibilidade do contrato)
Garantias	Mecanismos de Bolsa e Clearing	Definidas em contrato e confiança
Correções de Preços	Diários	No vencimento do contrato

Fonte: Marques *et al.* (2006).

Whaley (1986) distingue os dois tipos de contrato afirmando que, enquanto no contrato a termo ocorre um único pagamento – realizado na data futura especificada no contrato –, nos contratos futuros são realizados pagamentos intermediários que podem representar perdas ou ganhos de acordo com a variação negativa ou positiva no valor diário das posições detidas pelos agentes. Essas perdas ou ganhos são acumulados durante a vida do contrato, o que torna o valor final de uma posição em um contrato futuro diferente do valor final de uma posição em um contrato a termo.

Para que ocorram as negociações, a Bolsa exige o depósito de uma margem de garantia tanto dos compradores quanto dos vendedores de contratos futuros. A margem está relacionada com o tamanho do contrato e com o número de contratos negociados, e garante que o compromisso de depósito do ajuste diário seja honrado. Essa margem é corrigida diariamente de acordo com o preço de ajuste; ao encerrar a operação, o valor depositado como margem, se não tiver sido utilizado, é devolvido ao investidor.

O preço futuro está especificado no contrato, e é determinado no momento em que o contrato é escrito, sendo escolhido de forma que nenhum pagamento seja realizado neste

momento. Quando o contrato vence o indivíduo que possui uma posição comprada ou vendida deste contrato, deve fazer ou receber pagamentos diários pela eventual compra do bem. As prestações diárias não são especificadas com antecedência no contrato, mas são determinadas pela variação diária no preço futuro. Se o preço futuro aumenta, então o investidor, que é *long*– possui posição comprada –, recebe um pagamento do investidor que é *short*– possui posição vendida –, e vice-versa. Esse procedimento é chamado de “*marking-to-market*” (marcação a mercado) (RICHARD; SUNDARESAN, 1981).

Uma vantagem ressaltada por Carlton (1984) para os contratos futuros é a possibilidade que o comprador de uma posição tem de cancelar sua obrigação entrando em uma transação de compensação na qual ele vende o contrato futuro. Dessa forma, o investidor recebe um ganho ou uma perda dependendo do quanto o preço ao qual ele vendeu está acima ou abaixo do preço pelo qual ele comprou o contrato. A maioria dos investidores prefere zerar suas posições através da realização de um termo contratual oposto ao original, antes do período de entrega especificado, fazendo com que a maior parte dos contratos futuros não seja conduzida até a entrega.

Mercados futuros são mercados organizados, onde não se comercializam produtos ou ativos, neles são negociados contratos futuros de *commodity*, ativo financeiro ou índice econômico para liquidação em determinada data futura. A maior parte dos contratos futuros não é conduzida até a entrega, os investidores preferem zerar suas posições com a realização de um contrato oposto ao original antes do período de entrega especificado no contrato (STOLL, 1979; MONTEZANO, 1987).

Os mercados futuros agropecuários funcionam como uma garantia, tanto para o produtor rural quanto para a indústria processadora em operações de *hedge* de preço, eliminando incertezas de preços na época da comercialização. Por meio desse mercado, o produtor consegue avaliar a viabilidade de investimento em determinada atividade, comparando o custo de produção conhecido e o preço que ele pode assegurar com a venda do produto a futuro na Bolsa. Com a transparência dos preços, é possível saber se os preços a serem pagos no futuro são compensadores, ou não, para a atividade produtiva (MARQUES, MELLO; MARTINES, 2006; COSTA, 2008).

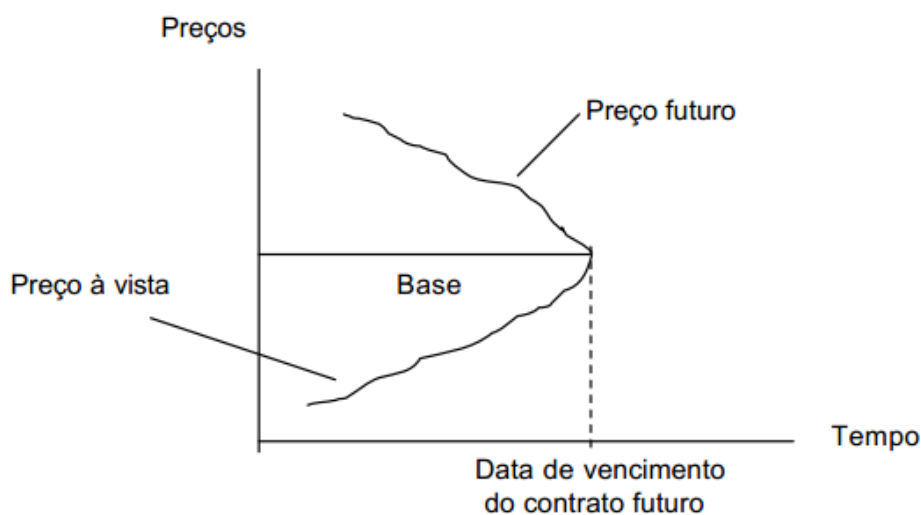
Nesse sentido, a principal função dos mercados futuros, em especial os de *commodities* agropecuárias, é facilitar a realocação de exposição ao risco de variação no preço entre os participantes do mercado. Ao proporcionarem um meio para a realização de *hedging* do risco do preço, os contratos futuros tornam possível separar a decisão de estocar ou não

fisicamente uma *commodity* da decisão de se expor financeiramente às mudanças em seu preço (ZVIBODIE; MERTON, 2001).

Além da proteção contra risco de preço, Montezano (1987) destaca mais três funções básicas dos mercados futuros: a) visibilidade de preços, os preços futuros refletem corretamente a expectativa presente sobre o futuro por parte de uma população, representando uma informação importante para os processos de tomada de decisão da economia; b) operações de financiamento, os mercados futuros permitem a realização de financiamento onde compras feitas no mercado físico são usadas para lastrear vendas no mercado futuro; c) alocação eficiente de recursos, os mercados futuros geram informações sobre preços, volume e expectativas, em bases competitivas, reduzindo os custos de acesso dos compradores e vendedores. Contudo, neste trabalho, será dado enfoque apenas à utilização do mercado futuro para proteção ao risco de variações no preço.

A formação dos preços no mercado futuro está atrelada a um conceito fundamental para seu entendimento, o conceito de "base", definido por Jiang e Hayenga (1997) como a diferença entre o preço à vista e o preço no mercado futuro. Esses preços tendem a mover-se na mesma direção, embora não necessariamente na mesma magnitude e ao mesmo tempo, pois as expectativas podem afetar, diferentemente, cada um dos preços. Dessa forma, a base evolui ao longo da duração do contrato, podendo assumir valor positivo, negativo ou igual à zero. Na medida em que se aproxima a data de vencimento do contrato, os preços à vista e futuro tendem para o mesmo valor no período, assim, a base vai diminuindo até se anular, ocorre a convergência nos preços.

Figura 2.3: Convergência de preços nos mercados futuro e à vista.



Fonte: Fortuna (2002) *apud* Ende (2002).

Isso ocorre porque, no vencimento, o contrato futuro é liquidado com as mesmas características do produto no mercado à vista. Se isso não ocorresse, seriam criadas oportunidades de arbitragem, isto é, o investidor obteria lucro sem incorrer riscos por meio de operações de compra e venda nos dois mercados. Por exemplo, se o preço à vista estivesse mais alto do que o preço futuro, os participantes do mercado tomariam posições compradas nos contratos futuros e venderiam no mercado à vista, garantindo um ganho sem risco. Cruz (2005) afirma que sempre que o preço à vista de um ativo mais o “custo de carregamento” dele (armazenagem, transporte, seguros e financiamento) for diferente de seu preço futuro, os arbitrageiros teoricamente atuarão restaurando a igualdade e garantindo a convergência dos preços à vista e futuro.

A incerteza sobre a base em determinado período futuro é chamada “risco de base”. O conhecimento do risco de base é fundamental para o investidor que deseja realizar *hedge* no momento da fixação do preço no mercado futuro para determinar a melhor estratégia de *hedging* a ser utilizada. No entanto, não é objetivo deste trabalho analisar o risco da base.

A liquidação financeira se apresenta como uma alternativa à liquidação por entrega, capaz de eliminar os fatores que prejudicam a convergência dos preços à vista e futuro, diminuindo o risco da base. Os custos e os problemas relacionados à entrega da mercadoria, os atritos causados pela entrega e recebimento do produto, os movimentos antecipados de oferta e demanda pela *commodity* objeto do contrato, próximo à data de vencimento, são eliminados. Com a liquidação financeira, as incertezas dos investidores quanto ao cenário de liquidação dos contratos são eliminadas. Na liquidação financeira, o contrato é ajustado por um índice que representa o preço da *commodity* no mercado à vista (ROCHELE, 1997).

Além da liquidação por entrega (raramente utilizada) e da liquidação financeira, é possível liquidar um contrato futuro por meio de reversão da posição. Conforme apresentado anteriormente, esse tipo de liquidação pode ser feito a qualquer momento entre o início da operação de compra ou venda de contratos e o seu vencimento. O interessado deve comunicar ao seu corretor a intenção de compra (para quem estiver vendido) ou de venda (para quem estiver comprado) de contratos para o mesmo vencimento. Caso sejam feitos negócios, a liquidação é feita pelo correspondente número de contratos revertidos. No caso de comprar ou vender todos os contratos necessários, a posição é totalmente liquidada e cessam as obrigações do interessado com a Bolsa (MARQUES; MELLO, 1999).

Para que o mercado futuro funcione efetivamente como um instrumento de garantia de preços, é necessário que haja liquidez no mercado, ou seja, facilidade de entrar e sair do mercado, o que implica em um volume considerável de contratos transacionados diariamente.

Barros *et al.* (2000), defendem que a liquidez é um dos principais fatores determinantes do êxito deste mercado, pois, com um baixo número de contratos sendo negociados, os riscos dessas operações acabam se elevando e inibindo novas negociações, gerando um círculo vicioso.

2.2.2 Contrato de Opções

Uma opção consiste em um direito, e não uma obrigação, de comprar ou vender um determinado ativo (ativo-subjacente ou objeto) a um preço futuro pré-determinado dentro de um período de tempo especificado. Para adquirir esse direito, o comprador (titular) de uma opção paga ao lançador da opção (vendedor) uma quantia em dinheiro chamada de prêmio ou preço da opção, pelo fato de o lançador assumir o risco da opção. Quando a opção dá a seu detentor o direito de comprar, é chamada de opção de compra ou *call*; se o direito adquirido é para vender um determinado ativo, é chamada opção de venda ou *put*. O preço especificado no contrato é conhecido como preço de exercício ou *strike price*, e a data é chamada de vencimento, expiração ou de exercício (SMITH, 1976; BLACK; SCHOLES, 1973; MERTON, 1973).

Dentro do mercado de opções, existe um órgão com a função de garantir que os acordos firmados entre as partes sejam cumpridos. Stoll e Whaley (1985) destacam que a câmara de compensação (*clearing house*) é fundamental para a negociação dos contratos de opção, pois obriga o vendedor a entregar o ativo da opção caso o comprador decida exercê-la. Depois de um contrato ser acordado, a câmara de compensação se interpõe entre comprador e vendedor tornando-se a parte a quem o comprador deve procurar para receber o ativo e a quem o vendedor deve fazer a entrega. Uma vez que o número de compradores é sempre igual ao número de vendedores, a câmara sempre tem uma posição líquida igual à zero.

No que se refere ao prazo para serem exercidas as opções, são classificadas como americanas ou europeias. Uma opção europeia pode ser exercida apenas na data futura que foi determinada no contrato, ao passo em que as opções americanas podem ser exercidas a qualquer momento até a data de vencimento (MERTON, 1973).

O valor intrínseco de uma opção é a porção de seu preço que se deve à vantagem real que o preço do ativo-objeto proporciona em relação ao de exercício. Considerando o valor intrínseco e a probabilidade de ser exercida, uma opção pode estar *in-the-money*, *at-the-money* ou *out-of-the-money*. Se o preço do ativo subjacente é igual ao preço de exercício, é dito que a opção de compra está no dinheiro. Se o preço do ativo está abaixo do preço de

exercício, a opção de compra está fora do dinheiro e não deve ser exercida. Se o preço de exercício da opção está abaixo do preço do ativo subjacente, a opção de compra é dita dentro do dinheiro, e o comprador da opção de compra pode exercer a sua opção, ganhando, assim, a diferença entre os dois, preços de exercício e o valor do ativo. O contrário é verdadeiro para as opções de venda (*put*).

O preço de uma opção (c) pode ser descrito como uma função do preço do ativo subjacente (S), da volatilidade (σ), da Taxa de juros do ativo livre de risco (r), do tempo de maturidade (t) e do preço de exercício (K). Dessas variáveis, apenas a volatilidade não pode ser observada diretamente no mercado, devendo ser estimada. Quanto mais alta a volatilidade, maior a variação do valor do ativo ao longo do tempo e maior a incerteza quanto ao preço esperado no futuro, sendo uma variável fundamental para o cálculo do prêmio da opção.

Marques e Mello (1999) consideram derivativos e mercados futuros como sinônimos no sentido amplo, devido aos preços nos mercados futuros de *commodities* (e financeiros) dependerem ou derivarem dos preços vigentes nos mercados físicos (e à vista). Os mercados futuros também possibilitam estabilização de preços e redução de riscos, permitindo melhor planejamento, diminuição dos custos de transação e aumento na competitividade das cadeias. A seguir, é feita uma breve apresentação sobre o funcionamento do mercado futuro e das pesquisas que estão sendo realizadas sobre o tema.

2.3 EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS

O interesse em estudar o mercado futuro não é algo recente, e, por outro lado, continua sendo um tema bastante atual entre os pesquisadores. Working (1962) faz uma revisão a respeito dos conceitos sobre mercados e preços futuros surgidos até então. Kamara (1982) segue uma linha mais específica ao focar seus estudos no comportamento dos preços, fazendo um levantamento a respeito das contribuições empíricas a partir da década de 70. Tomek (1997) examina a capacidade dos preços futuros em prever os preços à vista. Leuthold e Tomek (1980) fazem comentários sobre o desenvolvimento do mercado futuro de boi gordo. Sobre temas específicos, podem-se destacar os trabalhos de Andreou *et al.* (2001) que fez uma análise empírica sobre o comportamento dos preços especulativos; Tomek e Peterson (2001), sobre gestão de riscos em mercados agrícolas; Chen, Lee e Shrestha (2003), sobre a razão do *hedge* futuro; e Lien e Tse (2002), sobre a evolução das pesquisas que utilizaram o mercado futuro como instrumento de *hedging*, e como esses estudos contribuíram para o desenvolvimento na literatura de econometria.

Os trabalhos sobre mercados futuros possuem uma infinidade de abordagens. Grande parte da pesquisa empírica tem se concentrado na identificação da razão ótima de *hedge* e na determinação da efetividade do *hedge*, como por exemplo, a porcentagem de diminuir a variabilidade da posição “*hedgeada*” (JOHNSON, 1960; EDERINGTON, 1979; MYERS; THOMPSON, 1989; KRONER; SULTAN, 1993). Os trabalhos pioneiros sobre a razão ótima de *hedge* utilizando o princípio de variância mínima são de Johnson (1960) e Stein (1961). Posteriormente, esse modelo foi estendido por McKinnon (1967), Holthausen (1979), Anderson e Danthine (1980, 1983) incluindo temas como a incerteza da produção, *crosshedge*, mercados futuros, análise para múltiplos períodos.

Myers e Thompson (1989) sugerem que o *hedge* seja condicionado pela informação disponível no momento em que é realizado, representada pelos futuros defasados, os preços à vista defasados e as bases defasadas. Miller (1985) encontrou suporte para modelos de *cross hedge* simples e múltiplos, ao examinar o valor do *cross hedging* para *commodities* não negociadas em bolsa. Em contraste, Grant e Eaker (1989) investigaram o *cross hedge* em *commodities* com e sem contratos negociados em bolsa, com futuros múltiplos, e não encontraram nenhuma evidência do valor do *cross hedge* além de um *hedge* ingênuo (tradicional), na qual o *hedger* toma uma posição totalmente inversa à sua posição à vista. Outra abordagem das pesquisas encontradas baseia-se em evidenciar que os preços futuros e à vista, muitas vezes contêm raízes unitárias. Na presença de raízes unitárias, pode existir cointegração entre preços à vista e futuros, e a regressão de *hedge* ótimo pode ser especificada em um quadro de correção de erros (LIEN, 1996).

Os resultados empíricos têm identificado benefícios para o uso do *hedge*. A magnitude do *hedge* ideal e a sua efetividade variam de acordo com a situação e as características dos preços. No entanto, a maioria dos *hedges* ótimos é próxima, mas menores do que um, indicando a presença de risco de base, e estão associados com reduções substanciais na variabilidade dos retornos de caixa, como foi identificado por Mathews e Holthausen (1991). Estudos fornecem evidência de que o risco de produção reduz, substancialmente, as relações de *hedge* e a sua efetividade desenvolvida no âmbito de minimização do risco (GRANT, 1989; LAPAN; MOSCHINI, 1994).

Com relação ao risco, Pennings e Leuthold (2000) constataram que as percepções e atitudes dos agentes com relação ao risco afetam o *hedge*, juntamente com fatores como a razão da dívida por ativo, orientação para o mercado e comportamento empreendedor, no entanto, isso não ocorre de forma homogênea. Pennings e Garcia (2004), com uma amostra de pequenos e médios produtores, atacadistas e processadores de suínos, também encontraram

heterogeneidade no comportamento do *hedge* relacionado à exposição ao risco, tamanho da empresa, alavancagem financeira, atitude (e percepções de risco) e o nível de educação.

O *hedging* transforma o risco de preço em um risco menor: o risco de base. O comportamento da base determina a capacidade de proteção dos mercados futuros por meio de *hedging*, portanto, é importante compreender quais os fatores que afetam a base e se a base pode ser prevista. Como exposto na seção anterior, a teoria prevê que, com a aproximação do vencimento, os preços futuros e à vista devem convergir, aproximando a base de zero. Os estudos encontrados a respeito da base concentram-se em duas categorias principais: aqueles que identificam os determinantes da base, e aqueles que preveem o nível futuro da base.

Tilley e Campbell (1988) encontraram que a base do trigo em locais de exportação é determinada por fatores fundamentais, como disponibilidade de recursos, impacto dos programas governamentais e mês do contrato. Usando dados do mercado de milho e da soja, Jiang e Hayenga (1997), identificaram os padrões sazonais como importante para a formação da base, juntamente com os custos de armazenagem, níveis de produção e taxas de transporte.

Evidências empíricas mostram que a base para a *commodity* do boi varia de acordo com a diferença entre demanda atual e esperada e as condições de oferta sendo, a magnitude e o comportamento da base, impulsionados principalmente pelas mudanças esperadas na oferta. Garcia *et al.* (1984) modelou o risco de base no curto prazo, e encontrou variabilidade significativa no componente assistemático da base relacionado aos fatores que afetam os padrões de longo prazo nos preços e mudanças inesperadas nos preços. Parcell *et al.* (2000) em estudo também sobre o boi gordo, listou diversas variáveis de mercado que afetam a base desta *commodity*, e concluiu que tanto os padrões fundamentais quanto os sazonais são importantes.

Estudos de previsão têm especificado a base em termos de bases defasadas e outras variáveis econômicas. Tomek (1993) sugere que a base se torna mais volátil e difícil de prever, aumentando, assim, o risco de base, como resultado da natureza evolutiva dos mercados à vista, maiores níveis de integração vertical, e mais vendas diretas ou contratos com processadores. Liu *et al.* (1994) estudaram a previsibilidade da base para o boi gordo, modelando-a como uma função dos custos de entrega e mudanças esperadas no preço à vista. Eles concluíram que a dinâmica de curto prazo (ou seja, a base defasada) é tão importante quanto as variáveis fundamentais na previsão com base. Garcia e Sanders (1996) (base de suínos) e Jiang e Hayenga (1997) (base de milho e soja) também encontraram que os modelos simples de série de tempo são práticos para esse fim e apresentam um bom desempenho.

Outro tema que recebe bastante atenção dos pesquisadores quando o assunto é mercados futuros é a volatilidade. Samuelson (1965) argumentou que os preços futuros podem apresentar maior volatilidade na medida em que se aproximam da data de vencimento do contrato, o efeito “dia de vencimento”. Anderson e Danthine (1983) estabeleceram que a volatilidade está relacionada aos fluxos de informação, com os preços futuros sendo voláteis nos períodos em que a incerteza está sendo resolvida e estável quando a incerteza é pouco resolvida. Eles sugerem que uma maior volatilidade não tem que ocorrer como nas abordagens do efeito dia de vencimento, podendo ser influenciada pelas características das *commodities*.

Vários estudos têm tentado explicar os fatores que influenciam a volatilidade em mercados futuros agrícolas. Anderson (1985) encontrou que a sazonalidade, particularmente para os grãos, é o principal fator que afeta a volatilidade dos preços. Kenyon *et al.* (1987) examinaram o efeito de variáveis econômicas em um estudo para cinco *commodities*. De forma semelhante a Anderson (1985), encontraram que as variáveis sazonais capturam tanto a sazonalidade quanto o efeito dia de vencimento, não encontrando influência da volatilidade defasada nem das taxas de empréstimo atuais. Peck (1981) e Ward (1974) argumentam que as condições estruturais do mercado, tais como o grau de comportamento especulativo, podem afetar a variabilidade dos preços. Cornell (1981) encontrou uma relação entre volume diário e variabilidade no preço, para Brorsen (1989) a sazonalidade e o volume foram importantes para explicar a variabilidade dos retornos.

Streeter e Tomek (1992) combinaram várias dessas ideias e formularam um modelo geral para explicar a volatilidade mensal dos preços futuros de soja pelos fluxos de informação, informação econômica e estrutura de mercado. Seus achados apontam que o efeito descrito por Samuelson é não linear, e que sazonalidade é importante, particularmente durante os meses de verão. De acordo com suas conclusões, os especuladores não dominam *hedgers*, mas quando a especulação é grande, a variabilidade nos preços diminui. A concentração de contratos abertos por grandes negociantes faz com que a volatilidade aumente, e exista uma estrutura de defasagem distribuída na variabilidade.

Crain e Lee (1996) usaram um longo período de tempo (1950-1993), para encontrar os determinantes da volatilidade para o mercado futuro do trigo. Seus resultados mostram que a volatilidade é altamente influenciada por mudanças nos programas governamentais. Além disso, foram detectados padrões sazonais de volatilidade, embora possuam menor influência quando comparado com as mudanças nos programas. Eles concluíram que, embora a volatilidade nos preços futuros e à vista interajam, a volatilidade é transferida principalmente

a partir dos preços futuros para os preços à vista. De forma semelhante, Fortenbery e Zapata (2004) examinam a relação entre os preços do café de New York no mercado futuro e no mercado à vista, e encontraram que variações nos preços do mercado à vista podem ser influenciadas pelo mercado de futuros. Outra linha de estudos discorda desses achados ao argumentarem que o preço no mercado futuro responde a mudanças ocorridas no mercado à vista (SILVAPULLE; MOOSA, 1999).

Para o mercado brasileiro, a relação entre preço futuro e à vista foi estudada por Mattos e Garcia (2004) para as *commodities* de café arábica, milho, açúcar, boi gordo, soja e algodão. Os autores focam na função que os mercados futuros devem desempenhar de preço a descoberto, ou seja, o preço futuro varia de acordo com cada nova informação disponível no mercado. Para as *commodities* mais negociadas, boi gordo e café, foi identificada uma relação de longo prazo entre os preços futuro e à vista. Na presença de cointegração, os preços futuros desempenham papel dominante no processo de preço a descoberto.

Mattos e Garcia (2004) associam esses resultados ao bom desempenho apresentado pelos dois contratos (boi gordo e café), sendo *commodities* de bastante negociação em bolsa, grande participação no mercado internacional e liquidez nos contratos. O contrato de açúcar também apresentou resultados semelhantes; de forma contrária, o contrato de milho não apresentou nenhuma relação entre preço à vista e futuro. O algodão e a soja apresentaram relações de natureza fraca tanto em curto quanto em longo prazo. Tonin *et al.* (2009) utilizaram o teste de causalidade de Granger e o teste de cointegração para avaliar a relação existente entre os preços futuros e à vista do milho. Verificou-se uma relação bicausal e a existência de uma relação de longo prazo entre séries analisadas.

Fernandes *et al.* (2005) analisou o comportamento dos preços à vista e futuro do café e, por meio da análise da base, identificou que o período próximo à colheita é a melhor fase para o agricultor fazer um *hedge* de venda, pois, nesse período, o agricultor necessita de proteção contra o risco de queda de preço até a comercialização de seu produto; por outro lado, no período posterior, não é aconselhável.

Rochelle e Ferreira Filho (2000) examinaram o impacto da liquidação financeira sobre o risco de base do boi gordo negociado na BM&FBOVESPA, encontrando uma redução no risco de base após a introdução da liquidação financeira, em todas as regiões estudadas. Os autores destacam que essa redução no risco pode ter sido gerada também pelas mudanças estruturais ocorridas no mercado.

Amado e Carmona (2004) utilizaram contratos futuros de café, açúcar e milho negociados na BM&FBOVESPA para verificar a eficiência do mercado futuro de

commodities agrícolas no Brasil. A eficiência do mercado futuro está relacionada a sua capacidade de prever o preço à vista, os resultados se mostraram de acordo com essa hipótese apenas para café, nos mercados de milho e açúcar, por exemplo, o preço futuro se mostrou um estimador eficiente para os preços à vista apenas no primeiro período estimado. Resultado diferente foi encontrado por Pereira e Maia (2009) ao analisarem a formação dos preços no mercado futuro de cacau, negociados na Bolsa de Nova York, por meio da volatilidade. Os resultados evidenciaram o comportamento persistente da volatilidade para o período estudado, além disso, não foi encontrado suporte para a hipótese de mercado eficiente.

Baptista e Aguiar (2006) estudaram as estratégias de *hedge* utilizadas com os contratos futuros de boi gordo em nove estados brasileiros, a fim de identificar a viabilidade dessas operações. Foi encontrado, com exceção do Rio Grande do Sul, que as operações de *hedge* de venda tendem a proporcionar retornos duas ou três vezes maiores do que as operações de *hedge* de compra, indicando que as operações de *hedge* com os contratos futuros de boi gordo da BM&FBOVESPA são viáveis. Muller et al. (2008) analisaram a efetividade, em reduzir riscos, de diferentes estratégias de *hedge* para o café arábica no Brasil. Seus resultados indicaram a estratégia dinâmica como mais efetiva, seguida da estática, cobertura completa e não atuação em mercados futuros.

O comportamento da base e seu risco também foram estudados para o mercado futuro agropecuário do Brasil. Rosalem *et al.* (2008) calculou o risco de base para os contratos futuros de boi gordo e avaliou os retornos obtidos com as estratégias de *hedge* utilizadas, identificando que os contratos com vencimento em dezembro apresentam maior risco. Barros e Aguiar (2005) analisaram o comportamento da base de café arábica, identificando que há oportunidades de ganho tanto para *hedgers* de venda quanto de compra, porém as oportunidades de estratégias de *hedge* de compra são poucas e a lucratividade é ainda menor, em relação às estratégias de *hedge* de venda. Os resultados mostraram, ainda, que o fortalecimento da base não é diretamente proporcional ao risco de base.

2.4 PRECIFICAÇÃO DE OPÇÕES: O MODELO BLACK E SCHOLES

Apesar da moderna teoria de precificação de opções ter começado em 1973 com a publicação do modelo de Black-Scholes-Merton, a história da precificação de opções começou a ser construída a partir do século XIX. Esta época foi marcada por grandes avanços nas ciências em geral, alguns desses foram incorporados às finanças da época, como por

exemplo, a Lei de Gauss e o Movimento Browniano, responsáveis pelos primeiros passos das finanças estocásticas.

Nesse contexto, os primeiros conceitos relacionados às opções, enquanto teoria, foram publicados em 1877 no livro de Charles Castelli “*The Theory of Options in Stocks and Shares*”. Castelli (1877) fornece conceito e explicação prática para várias operações de *call* e *put* realizadas pelos compradores e vendedores de opções. São apresentadas noções sobre o risco assumido por cada parte na negociação e o prêmio pago pela opção, além disso, são ilustradas situações em que o investidor tem intenções de *hedging* ou de especulação nas operações e a possibilidade de combinar opções com arbitragem.

Para Merton (1973) a história da precificação de opções começou em 1900, com Louis Bachelier, matemático francês, que desenvolveu uma fórmula de precificação de opções baseada na suposição de que os preços seguem um movimento Browniano com desvio zero. O autor destaca, ainda, que a fórmula de Bachelier ignora qualquer desconto, ao não considerar o valor do dinheiro no tempo e assume que os preços das ações e das opções podem ser negativos. De acordo com Jarrow (2010) o maior erro do modelo apresentado por Bachelier está em considerar o preço das ações como sendo normalmente distribuídos.

O primeiro a realizar adaptações na abordagem de Bachelier foi Sprenkle (1961) assumindo retornos *lognormal* e preços não negativos. Uma das suposições de seu modelo é que os investidores são avessos ao risco, apesar de a sua fórmula aproximar-se muito do que foi posteriormente proposto por Black e Scholes, de modo que não recebeu muita atenção por causa da necessidade de se estimar um grande número de parâmetros. Em 1964, Boness melhora a fórmula pela contabilização do valor do dinheiro no tempo por meio de uma taxa de desconto do preço da ação subjacente, utilizando a taxa de retorno esperado das ações. O grande aprimoramento do trabalho de Boness foi feito posteriormente na construção do modelo de Black e Scholes, quando os autores conseguem provar que a taxa de desconto que deve ser utilizada é uma taxa livre de risco.

Pouco tempo depois, Samuelson (1965) deriva fórmulas para a avaliação de opções europeias e americanas (termos definidos por ele durante o trabalho), considerando que os preços seguem um movimento browniano geométrico. O modelo desenvolvido por Samuelson é muito próximo do que viria a ser desenvolvido por Black e Scholes (1973), cuja principal diferença é que, ao invés de invocar o princípio da não arbitragem para a derivação da fórmula, Samuelson postula, como condição, que o retorno da opção segue um *martingale*. (JARROW, 2010).

Outra contribuição relevante foi dada pelo trabalho de Samuelson e Merton. De acordo com Straja (1997), em 1969, Samuelson e Merton realizaram uma correção na qual o preço da opção era uma função do preço das ações e que a taxa de desconto utilizada para avaliar a opção deveria ser determinada por uma estratégia de *hedging*, onde os investidores detêm uma opção e alguma quantidade de ações. No entanto, os autores não consideram o fato de que os investidores podem manter outro ativo, de modo que o risco de uma opção ou ação que afeta sua taxa de desconto é apenas parte do risco de que não pode ser diversificado. A fórmula final encontrada por eles depende da função de utilidade assumida pelo investidor.

Thorp e Kassouf (1967) chegaram a uma fórmula para *warrants* bastante similar a que foi desenvolvida por Sprenkle (1961). A fórmula foi usada para calcular a proporção de ações que as opções precisam para criar uma posição de *hedge*, ao estar em uma posição de *long* em uma e de *short* em outra. O que eles não conseguem alcançar é o fato de que, em equilíbrio, o retorno esperado nesta posição de *hedge* deve ser igual ao retorno sobre um ativo livre de risco (BLACK e SCHOLES, 1973).

O Quadro02 resume os principais trabalhos que serviram de base para o desenvolvimento do modelo de Black e Scholes.

Quadro 02 – Contribuições que antecederam o modelo de Black e Scholes para precificação de opções.

Autor	Obra	Ano
Charles Castelli	The Theory of Options in stocks and shares.	1877
Louis Bachelier	BACHELIER, M.L. Théorie de La Speculation , Guautier Villars. Paris, 1900.	1900
Sprenkle	SPRENKE, C. Warrant Prices as Indications of Expectations” Yale Econ. Essays 1 (1961): 179-232.	1961
James Boness	BONESS, J. Elements of a theory of stock-option value. Journal of Political Economy , 72 p. 163-175. 1964.	1964
Samuelson	SAMUELSON, P. A. Proof that properly anticipated prices fluctuante randomly. Manege Rev. , n.6, p.41-49, 1965.	1965
Thorp e Kassouf	THORP, E.O.; KASSOUF, S.T. Beat the Market. New York: Handom House , 1967.	1967
Samuelson e Merton	SAMUELSON, P.A.; MERTON, R.C. A Complete Model of Warrant Pricing that Maximizes Utility. Indus. Management Rev. 10 (Winter 1969) 17-46.	1969

Fonte: Dados da pesquisa, 2012.

Mesmo com todo o avanço ocorrido na época no ramo das finanças e a incorporação dessas inovações à teoria das opções, ainda faltava ocorrer uma maior consolidação dos conhecimentos existentes sobre o mercado de opções. Faltava um modelo que unisse o *hedging* sem risco com os princípios de não arbitragem para precificar opções. Baseados nos trabalhos que foram citados acima e mais alguns de Jack L. Treynor (1961), William Sharpe (1964), Franco Modigliani e Merton Miller (1958) e John Lintner (1965) entre outros, Fischer Black, Myron Scholes e Robert Merton iniciaram a moderna teoria da precificação de opções com a publicação, em 1973, do modelo analítico para avaliar opções Black-Scholes-Merton. A partir de então, muitos trabalhos têm contribuído para o desenvolvimento dessa teoria. Vários modelos matemáticos foram desenvolvidos com o intuito de calcular o prêmio a ser pago em um contrato de opção, dentre os quais se destacam os modelos baseados em árvores e equações diferenciais.

Em 1973, Robert Merton, Myron Scholes e Fisher Black desenvolveram uma solução para o problema do apreamento de opções, que até então não possuía uma fórmula completa. O modelo proposto se referia à precificação de opções sobre ações, chegando à fórmula para o cálculo do valor teórico de uma opção de compra europeia exercida sobre um objeto que não paga dividendos e é livremente negociado no mercado. Esse modelo ganhou grande notoriedade na época, e continua sendo bastante utilizado na prática até hoje, conhecido como o Modelo de Black e Scholes (B&S). Por se tratar de um modelo teórico foram adotadas várias premissas simplificadoras ou “condições ideais” que o tornam possível de ser implementado. As premissas assumidas por Black e Scholes (1973) foram:

- a) A taxa de juros livre de risco é conhecida e constante ao longo do tempo.
- b) O preço do ativo segue um *random walk* (caminho aleatório) contínuo ao longo do tempo com taxa de variância proporcional ao quadrado do preço do ativo. Dessa forma, o preço dos ativos ao final de qualquer intervalo é uma lognormal. A taxa de variância do retorno é constante.
- c) O ativo não paga dividendos ou outros benefícios.
- d) A opção é europeia, ou seja, só pode ser exercida na data de vencimento.
- e) Não existem custos de transação na compra ou venda, tanto de um ativo quanto da opção.
- f) É possível investir qualquer fração de ativos ou derivados a uma taxa de juro sem risco.
- g) Não existem penalizações ao se fazer *short selling* (venda a descoberto).

O modelo se desenvolve a partir da consideração de que o comportamento do preço dos ativos é um processo estocástico, ou seja, os preços variam aleatoriamente em tempo contínuo. Como a suposição de normalidade para o movimento dos preços levava a implicações inaceitáveis, os autores consideraram que o preço das ações seguia um tipo específico de processo estocástico, o Movimento Browniano Geométrico (SMITH, 1976). O movimento Browniano é considerado, por Chalamandaris e Malliars (2008), o motor dos modelos estocásticos em tempo contínuo e recebeu esse nome devido ao botânico inglês Robert Brown, que observou o movimento aleatório de partículas de pólen na água no ano de 1827. Esse modelo também é conhecido como processo de Wiener, por ter incorporado contribuições de Nobert Wiener, em 1923.

Para entender a aplicação do movimento browniano ao movimento dos preços dos ativos, quatro características são fundamentais: seus caminhos são contínuos e pode ser considerado como uma versão em tempo contínuo de um passeio aleatório; é um processo finito; é um processo de Markov, o que significa que valores passados não interferem no valor da distribuição futura que depende apenas do seu valor atual; e pode ser descrito como um *martingale* que faz com que a melhor estimativa do seu valor futuro seja o valor atual do processo (CHALAMANDARIS; MALLIARS, 2008)

O trabalho de Wiener sobre a integral estocástica foi posteriormente ampliado pelo probabilístico japonês Kiyosi Itô durante o período de 1944-1951. Duas décadas depois Merton (1973) e Black e Scholes (1973) começaram a usar a equação diferencial estocástica de Itô para descrever o preço dos ativos. Os autores começam seu trabalho mostrando que é possível criar uma posição de *hedge* ao assumir uma posição comprada na ação e uma posição vendida na opção. Dessa forma, o número de opções que devem ser vendidas para proteger uma posição comprada do ativo, sendo $w(x, t)$ o valor do prêmio da opção uma função do preço do ativo x e do tempo t , é:

$$1/w_1(x, t) \quad (1)$$

O número “1” subscrito em w se refere à derivada parcial de $w(x, t)$ em relação ao seu primeiro argumento.

Conforme Lee et al. (2010), se o preço de um ativo x segue o processo de Wiener, seu comportamento pode ser denotado por:

$$dx = a dt + b dz \quad (2)$$

em que, a e b são constantes; t é o tempo; e z é uma variável tal que $dz = \varepsilon \sqrt{\Delta t}$, onde ε é uma variável aleatória com distribuição normal.

Se as variáveis a e b forem consideradas como não sendo constantes, mas dependentes do próprio valor de x e do tempo, chega-se à equação diferencial estocástica de Itô:

$$dx = a(x, t)dt + b(x, t)dz \quad (3)$$

Cox e Ross (1976) salientam que esse processo é semelhante ao pressuposto básico empregado por Black e Scholes para o preço do ativo, que segue um processo de difusão lognormal na forma:

$$dx = \mu dt + \sigma dz \quad (4)$$

onde x é o valor do ativo, μ é o retorno médio esperado, σ é a variância futura nos preços do ativo (volatilidade).

Nesse ponto, Black e Scholes (1973) aplicam o cálculo estocástico do lema de Itô em que uma expressão G é função de x e t , como segue:

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial x} a + \frac{\partial G}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} b^2 \right) dt + \frac{\partial G}{\partial x} b dz \quad (5)$$

A variável G é substituída pela variável w , que é o preço da opção (função de x e t) e utilizando a versão expandida da equação (4), chegaram a:

$$\Delta w = w_1 \Delta x + \frac{1}{2} w_{11} \sigma^2 x^2 \Delta t + w_2 \Delta t \quad (6)$$

Na equação (6), os subscritos em w são usados para se referir às derivadas parciais, e σ^2 é a taxa de variância sobre do retorno do ativo. Substituindo a equação (6) em $\Delta x - \Delta w/w_1$, Black e Scholes encontraram a mudança no valor em uma posição de hedge:

$$- \left(\frac{1}{2} w_{11} \sigma^2 x^2 + w_2 \right) \Delta t / w_1 \quad (7)$$

Black e Scholes (1973) demonstraram que é possível realizar *hedge* sem risco ao formar uma carteira que contenha uma proporção certa de ações e de opções; por exemplo, se

a carteira de *hedge* é estabelecida com uma posição *long* (comprada) na ação e uma posição *short* (vendida) na opção, caso os preços aumentem, o aumento no valor da carteira gerado pelo lucro sobre a posição *long* na ação é compensado pelo decréscimo no valor da carteira a partir da perda que o aumento no preço das ações gerou para a posição *short* na opção, e vice-versa. Se as quantidades de ações e opções na carteira de *hedge* forem continuamente ajustadas de maneira correta, como os preços dos ativos mudam ao longo do tempo, as expectativas são “zeradas” fazendo com que o retorno da carteira de *hedge* seja igual ao valor da taxa de juros livre de risco.

Estabelecidas essas condições, o preço ou valor de uma opção irá depender apenas do preço do ativo subjacente e de algumas variáveis conhecidas: taxa de variância sobre o preço do ativo; tempo de maturidade da opção; preço de exercício da opção e a taxa de juros livre de risco. Smith (1976) destaca dois pontos importantes a respeito dessas variáveis: o primeiro é que a taxa esperada de retorno para o ativo, ou os parâmetros denotando atitudes do investidor em relação ao risco não aparecem como argumentos na solução geral da precificação de opções. E o segundo é que a única variável da solução que não pode ser diretamente observada é a taxa de variância (volatilidade), podendo ser estimada através da sequência de preços passados.

A equação final de Black e Scholes para a precificação de opções europeias pode ser escrita como segue:

$$c = SN(d1) - Xe^{-rt}N(d2) \quad (8)$$

$$p = Xe^{-rt}N(-d2) - SN(-d1) \quad (9)$$

$$d1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma\sqrt{t}} \quad (10)$$

$$d2 = d1 - \sigma\sqrt{t} \quad (11)$$

Onde:

C = preço da opção de compra;

S = preço da ação;

X = preço de exercício;

r = taxa de juros sem risco;

T = tempo até o vencimento da opção em anos;

σ = desvio padrão da taxa de retorno;

$\ln$ = logaritmo natural;

e = base da função logarítmica;

$N(d)$ = probabilidade de que uma variável aleatória de certa distribuição normal padrão seja menor que d .

Usando os mesmos pressupostos da fórmula de precificação original, Black (1976) encontrou fórmulas para o preço futuro de opções de *commodity*, considerando-as semelhantes a uma opção de um título que paga dividendos contínuos. O preço de um contrato de *commodity* é escrito como função apenas do correspondente preço futuro e do tempo. A fórmula foi aplicada a opções de *commodity* europeia, que só podem ser exercidas na data de vencimento; neste caso, o investimento no contrato futuro é zero deixando o fator taxa de juros fora da fórmula. O preço de uma *call* europeia, c , e o preço de uma *put* europeia, p , para uma opção de *commodity* derivada por Black são escritos como:

$$c = e^{-r(T-t)} [FN(d_1) - XN(d_2)] \quad (12)$$

$$p = e^{-r(T-t)} [XN(-d_2) - FN(-d_1)] \quad (13)$$

$$d_1 = \frac{\ln(F/X) + (\sigma^2 / 2)(T - t)}{\sigma\sqrt{T - t}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T - t}$$

dado que,

T = data de vencimento;

t = data atual;

X = preço de exercício;

F = preço do contrato futuro;

$N(dx)$ = probabilidade cumulativa de uma variável normal padronizada;

σ = volatilidade.

Vários pesquisadores dedicaram-se ao relaxamento de grande parte dos pressupostos sugeridos por Black e Scholes (1973, 1976), dando origem a novos modelos de precificação. A hipótese de que o preço das ações segue um movimento browniano geométrico ao longo do tempo e que isso produz uma distribuição *lognormal* para o preço de ações entre intervalo de tempo foi contestada pelos modelos de variância com elasticidade constante de Cox e Ross (1976), Cox e Rubinstein (1985), os modelos de alavancagem de Geske (1979), e os modelos

de árvores binomiais de Cox, Ross e Rubinstein (1979) e trinomiais implícitas de Rubinstein (1983) (vide Apêndice A).

Cox *et al.* (1981) reconhecem a importância do trabalho seminal de Black (1976) na precificação de contratos futuros, no entanto, ressaltam que a discussão apresentada se baseia em uma taxa de juros constante, fazendo com que os preços de mercados futuros e a termo se igualem, o que não ocorre na prática.

Merton (1976) percebe que o modelo de Black e Scholes considera que as mudanças nos preços das ações satisfazem uma espécie de propriedade “local” de Markov, de que em um curto intervalo de tempo o preço das ações só pode variar também em pequena quantidade. Tendo isso em vista, deriva uma fórmula que permite uma mudança de magnitude extraordinária (componente descontínuo) no preço das ações, não importando o quão pequeno seja o intervalo de tempo. Dessa forma, o que ocorre com o movimento dos preços dos ativos é uma mistura de processos contínuos com ações dinâmicas (saltos). A fórmula derivada tem a maioria das características atrativas da fórmula original de Black e Scholes, não dependendo das preferências dos investidores ou do conhecimento sobre o retorno esperado do ativo subjacente, além de manter todas as demais hipóteses originais.

Ball e Torous (1985) aplicam o modelo de Merton, que admite saltos nos retornos para eliminar os vieses sistemáticos do modelo Black e Scholes e encontram evidência estatisticamente consistente para a existência de uma distribuição log normal com saltos na maioria dos retornos diários de uma amostra de ações ordinárias listadas na NYSE. No entanto, os autores não conseguiram identificar diferenças operacionalmente significativas entre os dois modelos de precificação de opções.

A análise empírica sobre precificação de opções tem descoberto diferenças sistemáticas entre os preços de mercado e os valores teóricos produzidos pela fórmula Black-Scholes. Foram encontrados vieses sistemáticos em relação ao preço de exercício (RUBINSTEIN, 1981; MACBETH; MERVILLE, 1979), o prazo de vencimento da opção e a volatilidade (WHALEY, 1982). Em outra linha, trabalhos como os de Hull e White (1987) e Heston (1993) desenvolveram modelos de volatilidade estocástica.

Apesar de várias metodologias cada vez mais complexas para o cálculo do preço de uma opção continuarem a ser desenvolvidas, o precursor modelo de Black e Scholes continua sendo amplamente utilizado, apesar de suas imperfeições, devido a sua facilidade de aplicação com apenas uma variável não observável diretamente no mercado.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, serão discriminadas as técnicas e procedimentos metodológicos do estudo utilizados, descritos como: fonte de dados; operacionalização das variáveis, e métodos de avaliação dos modelos de precificação de opções. Além disso, são descritos os métodos necessários ao cálculo de cada tipo de volatilidade (histórica, implícita, determinística) empregado nos modelos numéricos e de Black (1976) para precificar as opções, com o objetivo de identificar aquele que mais aproxima o valor calculado das opções ao seu valor observado no mercado.

3.1 FONTE DE DADOS

Os dados utilizados nessa pesquisa para a composição das variáveis foram coletados junto à BM&FBOVESPA através do Sistema de Recuperação de Informação da Bolsa de Mercadorias e Futuros, esse sistema fornece todas as séries de opções de compra e venda de mercadorias, as datas de negociação, o código da opção negociada, a quantidade de contratos em aberto, o número de negócios, o número de contratos negociados e o valor financeiro negociado. A amostra corresponde às opções sobre contrato futuro negociadas na BM&FBOVESPA durante o período 1º de janeiro de 2007 a 31 de dezembro de 2011. Foi escolhido esse intervalo de tempo para tentar incorporar o ciclo de preços da mercadoria que automaticamente influencia no comportamento dos preços dos contratos futuros.

3.2 OPERACIONALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS

O método consiste em comparar o preço observado no mercado e o preço teórico calculado utilizando-se medidas de volatilidade diferentes. Para isso, foram coletados os valores das seguintes variáveis: preço do ativo subjacente; preço de exercício; tempo de maturidade do contrato futuro; taxa de juros; volatilidade e o prêmio pago pelas opções sobre contratos futuros de boi gordo. O ativo subjacente, deste estudo, é o contrato futuro de boi gordo negociado na BM&FBOVESPA com a série iniciando no primeiro vencimento em aberto. De acordo com a BM&FBOVESPA (2012), o vencimento do Contrato Futuro de Boi Gordo coincide com o mês de vencimento da opção, tendo vencimentos em todos os meses do

ano. A data de vencimento e o último dia de negociação ocorrem no último dia útil do mês de vencimento.

O tempo de maturidade de uma opção foi calculado como uma proporção dos dias úteis no ano $(T - t / 252)$. As opções muito próximas da data de vencimento são retiradas da análise devido a sua baixa liquidez. A taxa de juros utilizada é uma taxa de juros anual continuamente capitalizada, dada por $r = \ln(1 + i)$, sendo i a taxa de juros livre de risco, seguindo Saito e Rochman (2008), foi utilizada como *proxy* a taxa de juros dos Certificados de Depósitos Interbancários (CDI) diário de fechamento, disponível no site do Banco Central do Brasil.

As opções foram classificadas quanto a sua proximidade do dinheiro por meio do índice de *moneyness*, sendo excluídas da amostra aquelas com valores discrepantes da maioria dos dados utilizados (detecção dos *outliers*). O índice de *moneyness* é definido por Etling e Miller Jr. (2000), como a relação entre o preço do ativo subjacente e o preço de exercício da opção de compra, escrita como segue:

$$M = \frac{S}{X \cdot e^{-rT}}$$

Onde,

S e X são o preço do contrato futuro e o preço de exercício da opção, respectivamente;

r e T são, respectivamente, a taxa de juros livre de risco e o tempo de maturidade da opção.

Seguindo a metodologia utilizada por Tonin (2009) as opções foram classificadas da seguinte maneira: uma opção de compra é considerada dentro-do-dinheiro se o resultado da equação de *moneyness* for maior que 1,05 ($MN > 1,05$); a opção é classificada como fora-do-dinheiro se o índice for inferior a 0,95 ($MN < 0,95$) e é classificada como opção no-dinheiro ($0,95 \leq MN \leq 1,05$).

Quanto ao prazo de vencimento da opção, foram classificadas em curto, médio e longo prazo. O primeiro engloba as opções com prazo de maturidade inferior a 30 dias, o segundo período refere-se às opções com vencimento entre 30 e 60 dias e o último grupo é composto pelas opções com mais de 60 dias para o seu vencimento.

A série de retornos utilizada no cálculo das volatilidades foi obtida por meio da série de preços dos contratos futuros de boi gordo aplicados a fórmula $R_t = \ln S_t - \ln S_{t-1}$ ou, $R_t = \ln(S_t/S_{t-1})$. Sendo R_t o retorno diário do contrato futuro, S_t o preço do contrato futuro no dia t e S_{t-1} o preço do contrato futuro no dia anterior.

3.3 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DOS MODELOS DE PRECIFICAÇÃO

Para analisar se os valores teóricos obtidos pelo modelo de precificação são compatíveis com os preços efetivos de opções sobre contratos futuros de boi gordo observados no mercado, utilizou-se uma das medidas de erro de previsão propostas por Morettin e Toloi (2004) a fim de encontrar o método que melhor atendesse os resultados esperados. Foi utilizada a Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE), cuja medida é dada por:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N \left(\frac{a_k - y_k}{a_k} \right)^2}{N}}$$

em que, N é o número de contratos, a_k representa o preço de mercado no instante t , y_k o preço estimado da opção no instante t .

3.4 CÁLCULO DA VOLATILIDADE HISTÓRICA

A estimação da volatilidade pode ser feita por meio de vários modelos. De acordo com Gabe e Portugal (2004) normalmente a previsão da volatilidade apresenta resultados diferentes, dependendo do modelo utilizado e das condições de mercado. Em mercados estáveis, as diferenças entre várias previsões são relativamente menores.

Um método bastante utilizado para a previsão de volatilidades é considerar a volatilidade como o desvio padrão dos retornos dos ativos em taxas logarítmicas com base em séries passadas. Taleb (1997) considera a média dos retornos como sendo igual à zero; desse modo, a volatilidade amostral dos retornos do ativo i para uma amostra de n observações é definida como:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n r_i^2}{n}}$$

Para obter o valor anualizado da volatilidade, multiplicamos o resultado da equação acima pela raiz de 252 (número de dias úteis em um ano).

Hotta *et.al.* (2003) alerta para um dos problemas que pode ocorrer na estimação de volatilidades históricas em que todas as observações da amostra recebem o mesmo peso. Isso faz com que um número muito grande de n , aumente a inclusão de dados muito antigos, permitindo pouca adaptabilidade às informações mais recentes e mais relevantes para prever o futuro. Esse tipo de problema pode ser controlado utilizando uma janela móvel com um número fixo de observações, dando maior importância às observações mais recentes por meio da escolha do tamanho da janela. Para tentar corrigir esse problema, o cálculo da volatilidade histórica nesse trabalho foi realizado utilizando médias móveis com janelas de 30, 60 e 90 dias, seguindo a metodologia usada por Coelho, Pinheiro e Ferreira (2009).

3.5 CÁLCULO DA VOLATILIDADE DETERMINÍSTICA

Outros modelos de volatilidade bastante utilizados são os cálculos de volatilidade determinística pertencente à família ARCH (GARCH, EGARCH e TARCH). Esses métodos de cálculo da volatilidade tiveram início com Engle (1982) que desenvolveu empiricamente o processo ARCH (*Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*), definido como tendo média zero, não correlacionado serialmente, com variância condicional sobre o passado. Neste processo o passado recente fornece informações importantes sobre a previsão da variância (volatilidade). Esse processo pode ser definido por:

$$X_t = \sqrt{\sigma_t^2} \varepsilon_t$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i X_{t-i}^2$$

sendo, X_t o retorno do ativo dado por $X_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1})$; σ_t^2 é a variância condicional usada como *proxy* para a volatilidade e ε_t uma sequência de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas (*i.i.d.*) com média 0 e variância 1.

Bollerslev (1986) propôs uma generalização para o modelo ARCH no qual a função da variância condicional inclui variâncias passadas. Desse modo, esse processo denominado de GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity) considera que a volatilidade dos retornos depende dos quadrados dos erros anteriores e também de sua própria variância passada (σ_{t-1}^2), representado pela equação:

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^p \alpha_i X_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma_{t-j}^2 + v_t$$

com, ω sendo uma constante e v_t um ruído branco [$N \sim (0,1)$] em que, σ_t^2 segue um modelo GARCH (p,q), onde q representa a ordem do componente ARCH e p a ordem do componente GARCH.

De acordo com Gujarati e Porter (2011) é comum às séries temporais financeiras apresentar um fenômeno conhecido como aglomeração da volatilidade, terminologia usada para descrever os períodos nos quais os preços apresentam grandes oscilações nos preços por um longo período de tempo seguido por períodos nos quais há pouca variação. Essas discrepâncias na volatilidade podem ser capturadas por duas variantes dos modelos ARCH e GARCH, o modelo TARCH de Zakoian (1994) e o modelo EGARCH de Nelson (1991).

A variância condicional do modelo TARCH (*Threshold Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*) proposta por Zakoian (1994) pode ser escrita como:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 + \gamma_1 d_{t-1} \varepsilon_{t-1}^2$$

em que a variável binária assume o valor $d_t - 1 = 1$, se $\varepsilon_t - 1 < 0$, e $d_t - 1 = 0$ caso contrário. No modelo EGARCH (*Exponential GARCH*), introduzido por Nelson (1991), o efeito de choques é exponencial e não quadrático. O logaritmo da variância condicional para o modelo EGARCH (1,1) pode ser definido como:

$$\ln(\sigma_t^2) = \alpha_0 + \beta_1 \ln(\sigma_{t-1}^2) + \alpha_1 \left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right| + \gamma_1 \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}}$$

Nesse modelo, os parâmetros são irrestritos, e devido ao parâmetro γ ser negativo a volatilidade aumenta quando os retornos são negativos. Desse modo, o método EGARCH apresenta uma vantagem sobre o problema de resposta simétrica presente no GARCH que não permite acomodar um dos fatos inerentes a dados financeiros: o mercado tem baixa volatilidade quando está subindo e alta volatilidade quando está em queda (HOTTA *et al.*, 2003).

3.6 CÁLCULO DA VOLATILIDADE IMPLÍCITA

A volatilidade implícita é uma previsão da volatilidade obtida na fórmula de precificação quando se iguala o preço de uma opção observado no mercado com o preço teórico dela acerca de um modelo de precificação de opção. Devido ao fato de a volatilidade implícita refletir a volatilidade média esperada pelos participantes do mercado, a maioria dos investidores considera essa medida como a previsão mais confiável para a volatilidade do ativo subjacente. É uma forma de avaliar a opção “*forward looking*” (olhando para frente), pois considera as expectativas que os agentes do mercado possuem sobre a volatilidade futura (GIOT, 2003; GABE; PORTUGAL, 2004).

A volatilidade implícita fornece uma medida pela qual os preços das opções podem ser comparados através de diferentes golpes, vencimentos, ativos subjacentes e tempos de observação; e pela qual os preços de mercado podem ser comparados com as avaliações de valor justo. É um padrão na indústria, na medida em que os negociadores cotam preços de opções em "vol" pontos, e as trocas atualizam os índices de volatilidade implícita em tempo real (LEE, 2004).

O preço de mercado de uma opção de compra c pode ser obtido, juntamente com o preço do ativo S , o preço de exercício K , a taxa de juros livre de risco r , e o tempo de maturidade da opção n ; assim, é possível *back out* a volatilidade implícita utilizando a equação (8). Visto que a volatilidade implícita é apenas o inverso do preço da opção no sentido do teorema de função inversa (GABE; PORTUGAL, 2004). Logo, se a fórmula utilizada for a de Black e Scholes, a volatilidade implícita será uma função das demais variáveis da fórmula:

$$\sigma^{VI} = f(c, K, S, T - t, r)$$

Uma vantagem dos métodos de volatilidade implícita é que permitem construir as superfícies de volatilidade. Essas superfícies mudam com a maturidade da opção e com o *moneyness* (preço de exercício da opção sobre o preço a termo do objeto subjacente). Assim, apresentam-se como um valioso instrumento em um mundo não-Black e Scholes (YOSHINO, 2001). Dumas et al. (1998) acreditam que o grande erro do modelo Black e Scholes na tentativa de descrever a estrutura observada nos preços das ações foi supor que a volatilidade era constante, ao passo em que resultados empíricos mostraram o preço de uma opção como uma função crescente da volatilidade.

Black (1976, p. 177) afirma que “[...] if the volatility of a stock changes over time, the option formulas that assume a constant volatility are wrong”. Dumas *et al.* (1998) apontam ainda que a abordagem de árvore binomial implícita proposta por Rubinstein (1994) devido aos muitos graus de liberdade para os preços das opções, seriam modelos capazes de obter um ajuste exato da estrutura observada nos preços das opções no tempo t . No entanto, esta abordagem não examina a estabilidade da árvore implícita através do tempo.

Conforme salienta Tonin (2009), as fórmulas comumente usadas para a precificação de opções não permitem que se isole a variável volatilidade, mesmo que o modelo tenha uma forma analítica. No entanto, a volatilidade implícita pode ser facilmente encontrada com o auxílio de softwares. Neste trabalho, utilizou-se uma fórmula específica para a volatilidade implícita do modelo de Black, encontrada no programa MATLAB 7.12.

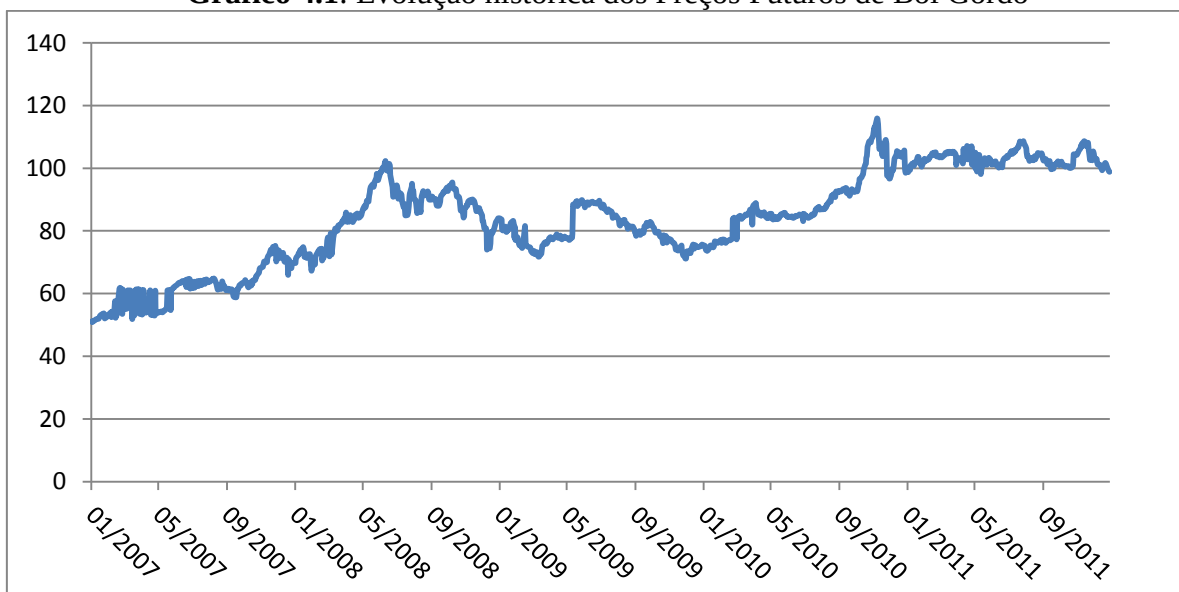
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS

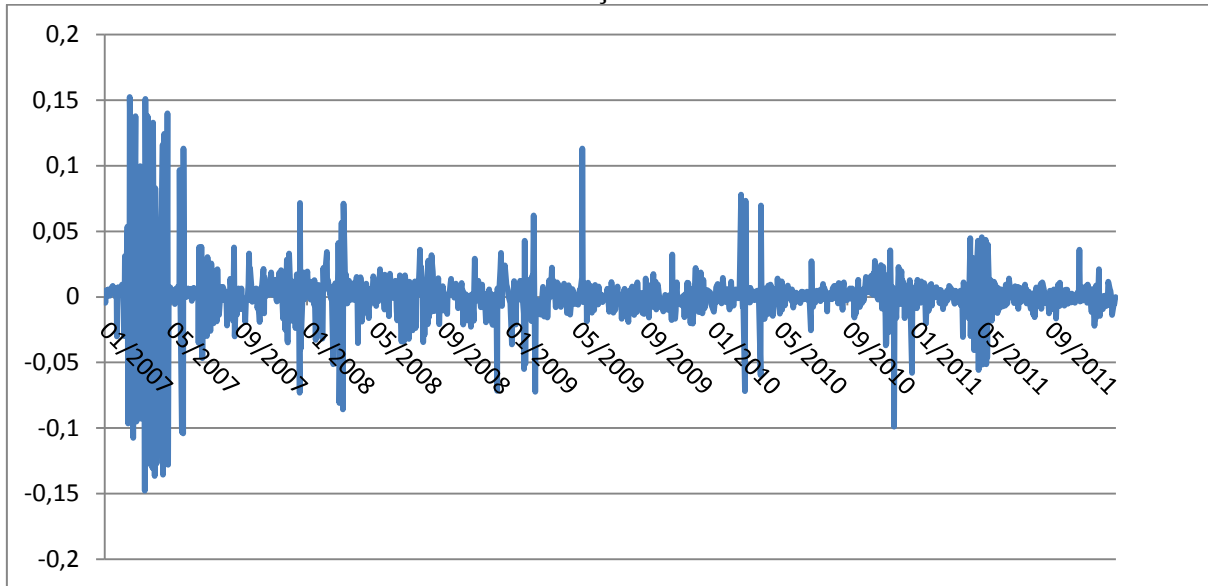
A série histórica dos preços de fechamento das opções sobre futuro e os preços do contrato futuro de boi gordo registrados na BM&FBOVESPA no período de 01 de janeiro de 2007 a 30 de dezembro de 2011 constituem a base de dados utilizada. Foram considerados apenas os contratos de opção de compra que tiveram valor de fechamento diferente de zero fornecendo um total de 3864 observações. Acredita-se que o período de análise escolhido (5 anos) é suficiente para incorporar as oscilações de preço no curto e médio prazo, geradas pelos dois ciclos de preço (anual e plurianual) da produção de carne bovina e que influenciam nos preços dos contratos futuros.

Os Gráficos 4.1 e 4.2 ilustram, respectivamente, o comportamento das séries diárias de preços e retornos do ativo subjacente utilizado na precificação de opções (contrato futuro de boi gordo) para o período de março de 2007 a dezembro de 2011. Observa-se um período de queda no preço do contrato entre 2009 e 2010, seguido de um período de recuperação e estabilidade a partir de 2011.

Gráfico 4.1: Evolução histórica dos Preços Futuros de Boi Gordo



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

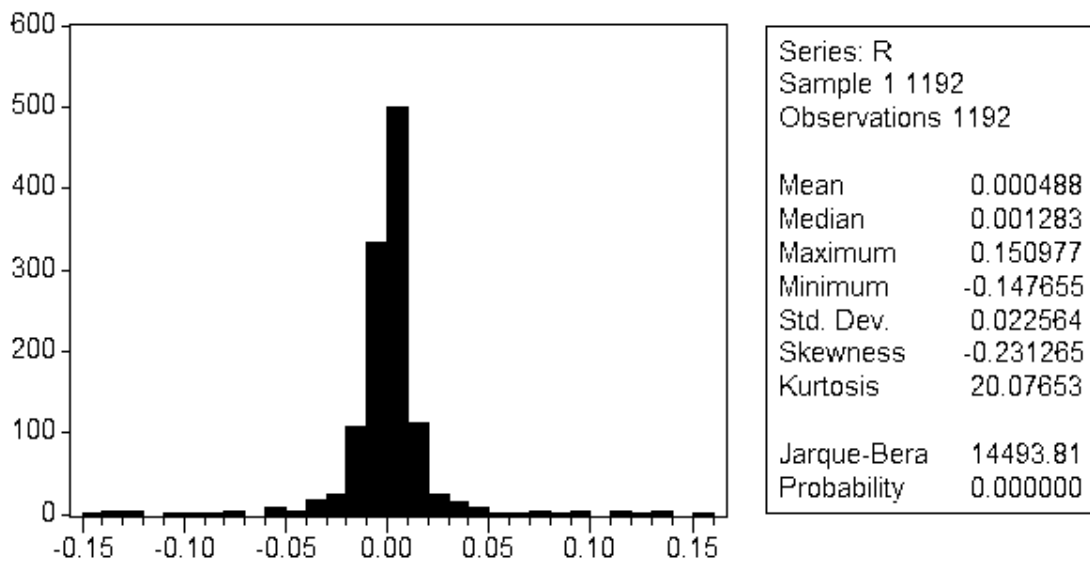
Gráfico 4.2: Retornos Diários da Série de Preços Futuros de Boi Gordo na BM&FBOVESPA

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

O Gráfico 4.2 apresenta os retornos com base nos preços futuros do boi gordo, é a partir dessa série de retornos que as volatilidades histórica e determinística serão calculadas. Ao longo do período percebe-se que a série tem vários retornos discrepantes isso ocorre devido à mudança contratual que acontece mensalmente. Todo final de cada mês vence um contrato, e no início do mês seguinte começa um novo. Pode-se inferir que a volatilidade não tem um comportamento constante ao longo do tempo. O período entre março e junho de 2007 é o que apresenta maior variação nos retornos, o que consequentemente será captado pela volatilidade. O ciclo de alta, iniciado em 2007 nos preços da arroba de boi gordo à vista, e que se estende até o final do período analisado, pode ter influenciado nos preços dos contratos futuros e consequentemente nos seus retornos.

Algumas estatísticas descritivas básicas da série de retornos dos contratos futuros de boi gordo são apresentadas na figura 4.1. Observa-se que os retornos no período analisado representam uma distribuição leptocúrtica, uma cauda maior que a distribuição normal, devido ao excesso de curtose (20.07653) em relação à distribuição normal (3,0). A estatística elevada do teste de Normalidade Jarque-Bera indica a rejeição da hipótese de que os erros se comportam de forma normal.

Figura 4.1: Histograma e estatísticas descritivas básicas dos retornos sobre os preços futuros de Boi Gordo na BM&FBOVESPA.



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

Após uma visão geral do comportamento do retorno futuro do boi gordo, parte-se para análise da série de fechamento das opções de compra, aplicaram-se inicialmente alguns critérios de corte. O primeiro deles consistiu em eliminar o efeito dia do vencimento, excluindo as opções que tinham até 5 dias para o seu vencimento, conforme orienta Gabe e Portugal (2004). Foram excluídas 29 opções lançadas com períodos muito curtos de maturidade nos cinco anos analisados. Os anos de 2007 e 2010 foram os que apresentaram maior quantidade de opções próximas ao vencimento, 11 e 9 respectivamente.

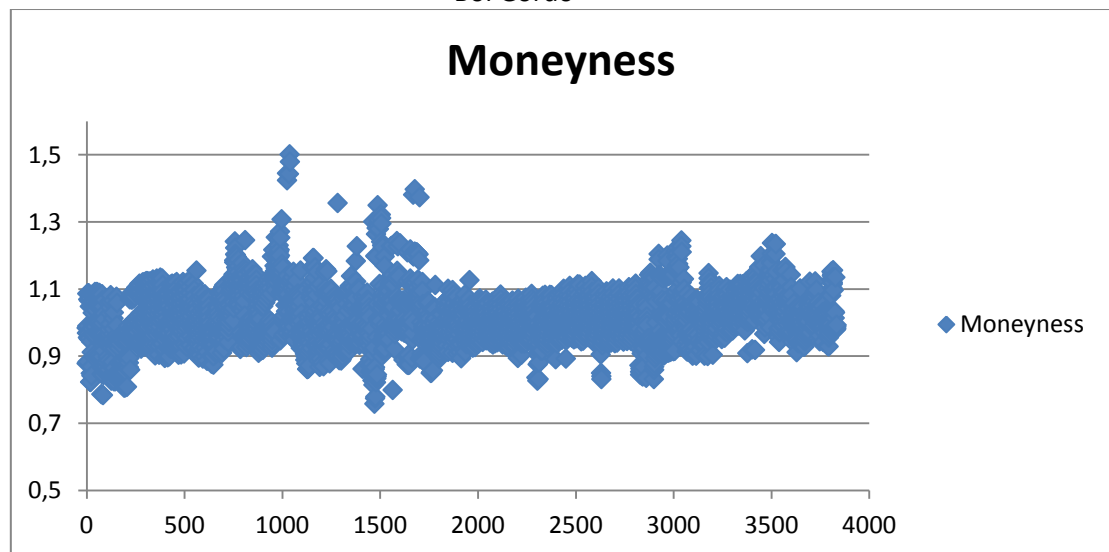
Como segundo critério de corte, foram excluídas da análise as observações que se comportavam como *outliers*, identificados por meio do teste de Grubbs. O teste é baseado na diferença da média da amostra e os dados extremos (máximo e mínimo), dividido pelo desvio padrão (GRUBBS, 1950, 1969). A estatística G de Grubbs pode ser representada pela seguinte equação:

$$G = \frac{|X_i - \bar{X}|}{s}$$

em que, X_i é a observação testada, $\bar{X}$ é a média e s o desvio-padrão do conjunto de dados. A observação é considerada como *outlier* quando o G calculado é maior do que o valor crítico tabelado.

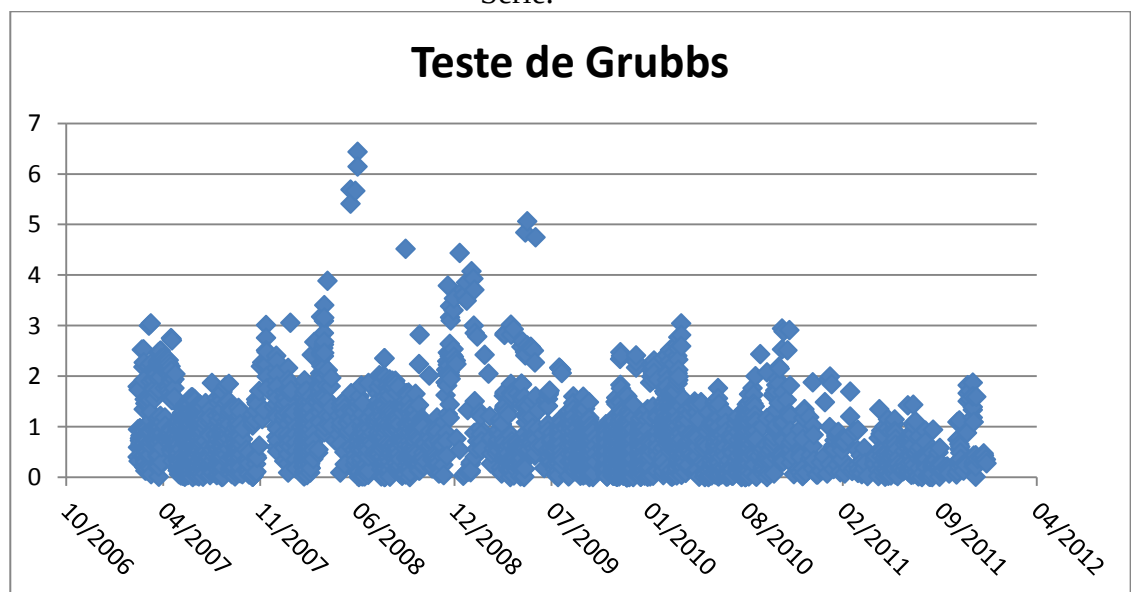
O teste de Grubbs foi aplicado sob o índice de *moneyness*, eliminando opções muito *fora-do-dinheiro* e muito *dentro-do-dinheiro*. O gráfico 4.3 mostra a distribuição do Índice de *Moneyness* para as observações. Apresentando uma grande concentração do índice entre 0,9 e 1,1. No entanto, não é possível identificar por meio desta análise visual quais opções podem ser consideradas *outliers*. Pelo Gráfico 4.4, para os valores padronizados pelo teste de Grubbs, é possível identificar valores discrepantes, distantes do dinheiro, nos anos de 2008 e 2009.

. Gráfico 4.3 - Índice de *Moneyness* das Opções de Compra sobre Contratos Futuros de Boi Gordo



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

Gráfico 4.4: Padronização das variáveis pelo Teste de Grubbs para detecção de *Outliers* na Série.



(*) G tabelado= 3,128

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

É observado um maior número de vieses nos três primeiros anos analisados. Cabe destacar que os anos de 2008 e 2009 foram os únicos que apresentaram *outliers*. Em 2008 essas observações discrepantes estão distribuídas ao longo do ano, enquanto para o ano de 2009 estão mais concentradas no mês de janeiro. Na segunda metade do ano ocorre uma melhoria no índice de *moneyness*, o que significa melhoria na precificação de opções de boi gordo que se estende para os dois anos seguintes da análise nos quais não foi encontrado nenhum *outlier* pelo teste de Grubbs. Aliás, o ano de 2011 merece destaque por apresentar apenas uma observação com viés de vencimento. A Tabela 4.1 apresenta a quantidade e a proporção de opções excluídas em cada critério.

Tabela 4.1: Opções retiradas devido à ocorrência de vieses sistemáticos: opções muito próximas do vencimento e *outliers*.

Ano	<i>Outliers</i>	Vencimento	Opções retiradas	Total de Opções	% Total
2007	0	11	11	795	1,38%
2008	16	0	16	704	2,27%
2009	11	8	19	1155	1,64%
2010	0	9	9	937	0,96%
2011	0	1	1	272	0,36%
Total	27	29	56	3863	1,44%

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

Após esse tratamento na série de dados, a amostra final foi reduzida para 3808 observações. A amostra foi classificada em três grupos de análise com base no índice de *moneyness*, que leva em consideração a proximidade do dinheiro, as opções foram classificadas em: *in-the-money* (ITM), *at-the-money* (ATM) e *out-of-the-money* (OTM).

Tabela 4.2: Classificação das Opções quanto a proximidade do dinheiro

<i>Moneyness</i>	2007	2008	2009	2010	2011	Total	% Total
ATM	360	291	735	472	191	2049	53,80%
OTM	191	155	164	137	16	663	17,41%
ITM	233	242	237	319	65	1096	28,78
Total	784	688	1136	928	272	3808	

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012

Verifica-se na Tabela 4.2 que a maioria das opções sobre contratos futuros de boi gordo (53,80% da amostra) são categorizadas como opções *at-the-money* (no dinheiro), em seguida estão as opções *in-the-money* (dentro do dinheiro) que representam 28,78% da amostra, enquanto que apenas 17,41% da amostra é composta por opções fora do dinheiro (*out-of-the money*). A partir dessa classificação podem-se inferir características importantes a respeito das opções analisadas, pois, de acordo com a literatura o grau de *moneyness* afeta a escolha dos agentes a cerca das diferentes opções. De acordo com Jong *et al.* (2001) os

traders informados usam as opções *in-the-money* (ITM) para aumentar a sua lucratividade porque as opções ITM são mais sensíveis a variações nos preços dos ativos subjacentes do que outras opções. As opções *out-of-the-money* (OTM) segundo Chakravarty *et al.* (2004) desempenham um papel importante no processo de preço a descoberto das opções fornecendo um efeito de alavancagem para os investidores. Kaul *et al.* (2002) argumentam que opções *at-the-money* (ATM) são mais líquidas e mais sensíveis à volatilidade, e têm menor *bid-ask spreads* (diferença entre a melhor oferta de compra e a melhor oferta de venda) do que as outras opções. Desse modo as opções classificadas como ATM, são mais úteis na previsão do movimento dos preços.

Outra forma de classificação das opções empregada na análise foi quanto ao seu prazo de vencimento, sendo classificado em: curto ($n \leq 30$), médio ($30 < n < 60$) e longo ($n > 60$). Identifica-se uma predominância das opções de compra com prazo de maturidade superior a 60 dias (56,17% das opções analisadas), com exceção do ano de 2009 em que a quantidade de opções de compra com prazo de vencimento médio ($30 < n < 60$) ficou acima das opções com maior período de maturidade.

Tabela 4.3: Classificação das Opções quanto ao tempo de maturidade

Ano	n < 30	30 < n < 60	n > 60
2007	66	105	613
2008	101	138	449
2009	357	413	366
2010	138	252	538
2011	52	47	173
Total	714	955	2139
% Total	18,75%	25,07%	56,17%

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

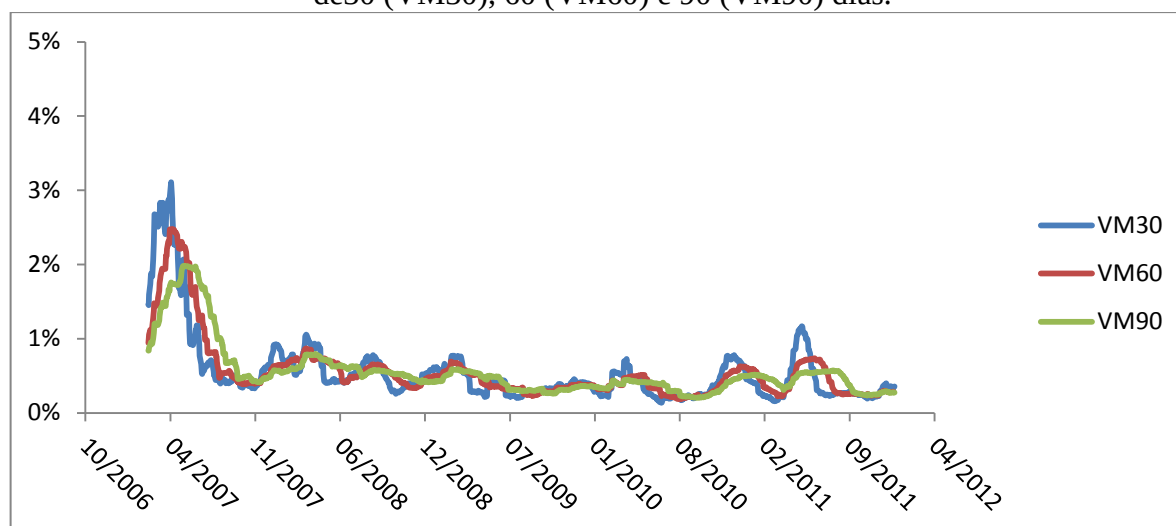
Essa classificação quanto ao tempo de maturidade é importante à análise, pois está diretamente relacionada à precificação de opções. Quanto maior for o prazo até a data de vencimento da opção, maior será a volatilidade para o preço do contrato futuro e menor o preço de exercício, isso levará a um aumento no valor da opção no caso de opções de compra.

4.2 CÁLCULO DAS VOLATILIDADES

4.2.1 Cálculo da Volatilidade Histórica

A volatilidade histórica foi obtida a partir da série de retorno diário dos contratos futuros de boi gordo, conforme descrito na seção 3.4, como os dados utilizados são diários para chegar à volatilidade anual, multiplicou-se o resultado pela raiz quadrada de 252. Com a série de volatilidade histórica pronta, aplicou-se o método de médias móveis para corrigir o erro de dar a todas as observações da série o mesmo peso. Foram utilizadas janelas temporais de 30, 60 e 90 dias. As séries estão apresentadas graficamente abaixo.

Gráfico 4.5: Volatilidades Históricas anualizadas calculadas por média móvel com janelas de 30 (VM30), 60 (VM60) e 90 (VM90) dias.



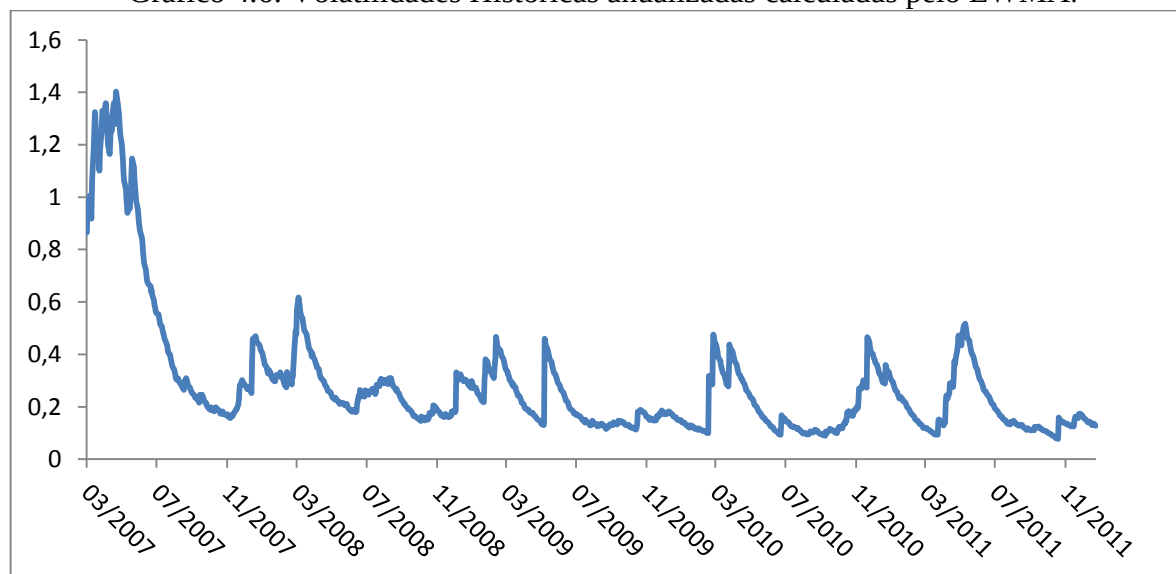
Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

Como pode ser observado as séries possuem movimentos semelhantes e valores muito próximos, no entanto, à medida que a janela temporal aumenta é percebido um alisamento dos “picos de volatilidade” sendo a série de volatilidade com janela móvel de 90 dias a que apresenta os níveis mais baixos. Desse modo, verifica-se que com a utilização de janelas temporais maiores, são encontradas volatilidades condicionais menores.

Hottaet *al.* (2003) consideram esse estimador ainda não suficiente pois como é utilizado o mesmo peso para as observações da amostra com o aparecimento de um retorno extremo irá elevar a volatilidade estimada enquanto a observação permanecer na amostra. Na

tentativa de minimizar esse problema, foi aplicado o método de média móvel por alisamento exponencial (EWMA), cujo gráfico é apresentado abaixo.

Gráfico 4.6: Volatilidades Históricas anualizadas calculadas pelo EWMA.



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012

A tabela 4.4 apresenta as estatísticas descritivas das volatilidades históricas anualizadas por média móvel (janelas de 30, 60 e 90 dias) e EWMA.

Tabela 4.4: Estatísticas Descritivas da Volatilidade Histórica

	30	60	90	EWMA
Média	0,00546292	0,00549864	0,0055423	0,284665849
Mediana	0,00410226	0,00443253	0,0046851	0,210245854
Desvio padrão	0,00476392	0,00416977	0,0036739	0,239567739
Curtose	10,312406	8,62733414	5,6967587	7,862547467
Assimetria	3,06311879	2,85325104	2,4437502	2,740553209
Mínimo	0,00135602	0,00182465	0,0019829	0,07768861
Máximo	0,03109646	0,02475889	0,0197743	1,402728084

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

Como pode ser observado existe uma grande semelhança entre as estatísticas das volatilidades calculadas pelo método de médias móveis enquanto que as estatísticas da série EWMA se diferenciam das demais. O valor médio dessa série é de 28% enquanto que para as demais não chega a 1%, além disso, percebe-se que com o aumento da janela temporal, o valor máximo da volatilidade é reduzido e a volatilidade mínima torna-se maior, ou seja, reduz-se o desvio-padrão. Também é percebida a grande diferença entre o valor máximo das

volatilidades calculadas por Média Móvel e por EWMA, enquanto que no primeiro método esse valor não ultrapassa 3%, no segundo a volatilidade máxima é de 140%.

Tonin (2009) orienta ser necessário realizar uma comparação entre a volatilidade e as demais variáveis utilizadas nos modelos de precificação, pelo fato de a volatilidade não ser uma variável prontamente observável como as demais variáveis e dessa forma podem levar a resultados bastante divergentes, como por exemplo, relações distintas entre volatilidade e preço do ativo-subjacente.

Tabela 4.5: Coeficiente de correlação da volatilidade dos retornos em relação às demais variáveis utilizadas no modelo de precificação de opções de compra.

	C	S	X	T	i	VM30	VM60	VM90	EWMA
C	1								
S	0,277	1							
X	0,222	0,903	1						
T	0,131	-0,157	-0,107	1					
i	0,116	0,039	0,053	0,113	1				
VM30	-0,083	-0,528	-0,445	0,313	0,428	1			
VM60	-0,126	-0,585	-0,517	0,256	0,496	0,854	1		
VM90	-0,143	-0,585	-0,585	0,186	0,512	0,690	0,927	1	
EWMA	-0,100	-0,564	-0,492	0,350	0,432	0,959	0,910	0,799	1

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

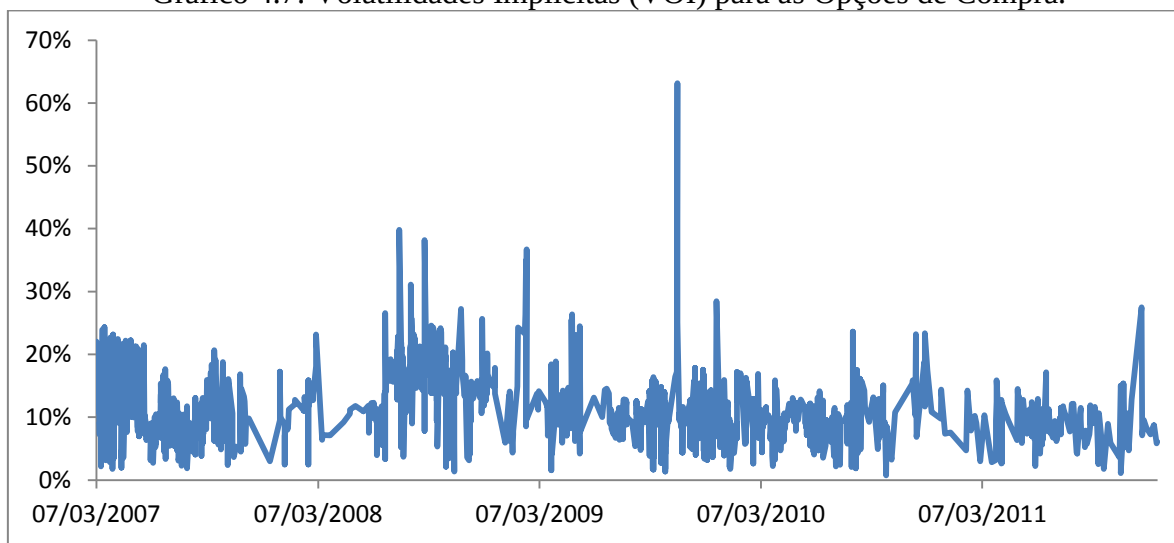
O preço de exercício (X) e do ativo subjacente (S) apresentaram uma forte correlação positiva (0,903) por outro lado, conforme é previsto pela teoria, foi encontrada relação negativa entre o tempo de vencimento das opções e o preço do contrato futuro, e entre o preço de exercício e o tempo de maturidade. As diferentes volatilidades por média móvel não apresentaram uma relação bem definida com a direção do preço do ativo subjacente nem com o preço de exercício, no entanto, para todas elas a correlação com o preço de exercício, o preço do contrato futuro o tempo de vencimento e o prêmio é uma relação negativa, ao contrário do que ocorre com a taxa de juros que aumenta ou diminui na mesma direção das volatilidades.

4.2.2 Cálculo da Volatilidade Implícita

A volatilidade implícita foi calculada a partir da equação de Black (1976) para opções sobre contratos futuros, para tanto foram utilizados os preços de fechamento das cotações diárias das opções de compra c , o preço de fechamento da cotação diária do contrato futuro de boi gordo S , o preço de exercício da opção X , o prazo de vencimento da opção t e a taxa de juros CDI anualizada, i , escolhida como *proxy* da taxa de juros livre de risco.

Como não é possível isolar o σ na equação que fornece o preço da opção, para chegar-se às volatilidades implícitas utilizou-se uma função específica existente no MATLAB “*blkimpv* (S, X, t, r, c)” que retorna automaticamente os valores da volatilidade implícita de acordo com o modelo de Black. O pressuposto por trás dessa fórmula é de que o modelo escolhido precifica corretamente as opções negociadas no mercado, sendo estes iguais aos preços calculados pelo modelo teórico. Esta volatilidade é considerada como o melhor previsor da volatilidade futura dos retornos do ativo subjacente, sobre o tempo restante do contrato.

Gráfico 4.7: Volatilidades Implícitas (VOI) para as Opções de Compra.



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

As volatilidades calculadas ficaram em sua maioria no intervalo entre 0 e 20% para todo o período, com média de 11% e valor máximo de 63% entre o final de 2009 e início de 2010. Cabe destacar que no processo de geração das volatilidades não foram encontradas volatilidades implícitas para um número considerável de observações, cerca de 39%. Para encontrar a volatilidade dessas observações utilizou-se a função do Excel “atingir meta”. A tabela 4.6 apresenta as estatísticas descritivas da série de volatilidade implícita quanto à posição no dinheiro e o vencimento da opção.

Tabela 4.6: Estatísticas descritivas da Volatilidade Implícita de acordo com a posição no dinheiro e o vencimento.

Classificação	Média	Mediana	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
ATM	0,109509604	0,105	0,043274475	0,632	0,007301212
ITM	0,100934274	0,0985	0,036931403	0,275	0,00730
OTM	0,109399944	0,103	0,044345623	0,398	0,007301212
n < 30	0,111799015	0,105	0,045811125	0,632	0,007301212
30 < n < 60	0,118881671	0,11	0,04425815	0,382	0,013402906
n > 60	0,11161829	0,103	0,04544439	0,398	0,007301212

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

De acordo com a literatura as opções que estão muito dentro do dinheiro ou fora do dinheiro têm volatilidades implícitas maiores do que as opções no dinheiro. Além disso, é normalmente relatada uma relação negativa entre a volatilidade implícita e o vencimento da opção (RUBINSTEIN 1985; DUMAS; FLEMING; WHALEY, 1998). A tabela 4.6 mostra que para as opções sobre contrato futuro de boi gordo as volatilidades implícitas são maiores para as opções que estão no dinheiro (ATM), mesmo não apresentando uma diferença muito significativa entre as médias. Quanto ao tempo de maturidade, não se pode chegar a resultados conclusivos que confirmem a literatura, pois a volatilidade média para cada prazo de vencimento é muito próxima uma da outra, aumentando um pouco quando passa de curto para médio prazo e diminuindo levemente deste para o longo prazo.

4.2.3 Cálculo da Volatilidade Determinística

Antes de estimar as volatilidades determinísticas representadas pela família ARCH, é necessário testar a estacionariedade da série dos retornos. Gujarati (2011, p. 45) considera que uma série é estacionária se “média e variância forem constantes ao longo do tempo e o valor da covariância entre dois períodos depender apenas da distância ou defasagem entre os dois períodos”. O comportamento estacionário nas séries temporais é extremamente necessário, pois a utilização dos modelos de regressão envolvendo séries temporais não estacionárias pode conduzir ao problema de regressão espúria.

A tabela 4.4 apresenta o resultado dos testes de raiz unitária *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) e Phillips-Perron (PP). Os testes ADF e PP consideram a hipótese nula de que a série é não estacionária (existe raiz unitária) contra a hipótese alternativa de estacionariedade. Conforme pode ser observado, a série do retorno do boi gordo é estacionária e não possui raiz unitária para todos os níveis de significância, em ambos os testes.

Tabela 4.7: Teste de Raiz Unitária para a Série de Retorno dos Preços do Boi Gordo.

Estatísticas	Dickey-Fuller Aumentado	Phillips-Perron
$t_{\text{calculado}}$	-31.24537	-56.07649
$t_{\text{crítico}}(1\%)$	-3.435631	-3.435626
$t_{\text{crítico}}(5\%)$	-2.863760	-2.863758
$t_{\text{crítico}}(10\%)$	-2.568002	-2.568001

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

Em seguida buscou-se identificar a existência de efeitos ARCH na série, para isso foi realizado o teste ARCH-LM que indica a presença de heterocedasticidade condicional. A hipótese nula do teste é de que não existe ARCH quando se consideram q defasagens nos resíduos. Os resultados são apresentados na Tabela 4.8, na qual se observa que o efeito ARCH está presente, dados os baixos valores da probabilidade rejeitando a hipótese nula de ausência de heterocedasticidade condicional para as diferentes defasagens testadas. A estatística F testa a hipótese de que todos os resíduos defasados da regressão auxiliar são redundantes.

Tabela 4.8: Resultados do Teste ARCH-LM.

Lag	Probabilidade	Estatística F
1	0.000000	523.7322
5	0.000000	112.4796
10	0.000000	75.53778
20	0.000000	35.35602
30	0.000000	27.65580

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

Após esta análise preliminar da série dos retornos, partiu-se para o cálculo das volatilidades determinísticas por meio da estimação e identificação do modelo que consegue prever com maior acuracidade a variância condicional. Para tal, foram utilizados os critérios de informação de Akaike (AIC) e de Schwarz (SC), sendo escolhidos os modelos com os menores valores para esses critérios. É importante ressaltar que, conforme Alexander (2001), os modelos ARCH não são adequados para o mercado financeiro uma vez que o modelo GARCH é melhor para estimação e captura do comportamento das séries. Também é identificado que conforme as defasagens no modelo ARCH aumentam, há uma convergência para o modelo GARCH (1,1).

Tabela 4.8: Modelos GARCH estimados.

Eq. Variância	Distrib.	Log Likel	Q RESID	Akaike	Schwarz
ARCH(1)	gaussiana	3079.596	0.606353	-5.157746	-5.144961
ARCH (5)	gaussiana	3222.204	0.606555	-5.390115	-5.360283
GARCH (1,1)	gaussiana	3312.432	0.606769	-5.546408	-5.529361
GARCH (2,1)	gaussiana	3345.515	0.606876	-5.600193	-5.578884
GARCH (2,2)	gaussiana	3334.178	0.606877	-5.579511	-5.553941
GARCH (1,2)	gaussiana	3330.847	0.606654	-5.575603	-5.554294
GARCH (1,3)	gaussiana	3333.876	0.606828	-5.579004	-5.553433
GARCH (2,3)	gaussiana	3350.982	0.606855	-5.606005	-5.576173
GARCH (3,1)	gaussiana	3346.831	0.606854	-5.600723	-5.575153
GARCH (3,2)	gaussiana	3347.881	0.606820	-5.600806	-5.570974
GARCH (3,3)	gaussiana	3351.003	0.606855	-5.604364	-5.570270
TARCH (1,1)	gaussiana	3313.041	0.606683	-5.545752	-5.524443
TARCH (2,1)	gaussiana	3345.668	0.606834	-5.598772	-5.573202
TARCH (2,2)	gaussiana	3333.324	0.606821	-5.576402	-5.546570
TARCH (1,2)	gaussiana	3332.248	0.606500	-5.576274	-5.550704
TARCH (1,3)	gaussiana	3339.635	0.606694	-5.586982	-5.557150
TARCH (2,3)	gaussiana	3344.016	0.606841	-5.592650	-5.558556
TARCH (3,1)	gaussiana	3346.901	0.606830	-5.599164	-5.569332
TARCH (3,2)	gaussiana	3366.263	0.606466	-5.629947	-5.595853
TARCH (3,3)	gaussiana	3341.698	0.606694	-5.587087	-5.548732
EGARCH (1,1)	gaussiana	3286.192	0.607680	-5.500742	-5.479433
EGARCH (2,1)	gaussiana	3357.358	0.606717	-5.618370	-5.592799
EGARCH (2,2)	gaussiana	3359.421	0.606815	-5.620153	-5.590321
EGARCH (1,2)	gaussiana	3316.270	0.607187	-5.549488	-5.523918
EGARCH (1,3)	gaussiana	3328.563	0.607590	-5.568421	-5.538588
EGARCH (2,3)	gaussiana	3360.309	0.606777	-5.619965	-5.585871
EGARCH (3,1)	gaussiana	3359.836	0.606789	-5.620849	-5.591017
EGARCH (3,2)	gaussiana	3359.974	0.606779	-5.619404	-5.585310
EGARCH (3,3)	gaussiana	3365.802	0.606856	-5.627497	-5.589141

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

Uma vez que quanto menores forem os coeficientes AIC e SC, melhor o ajustamento do modelo e também por apresentar coeficientes significativos, foi escolhido o modelo TARCH (3,2). O modelo TARCH é representado por $\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \gamma_1 d_{t-1} \varepsilon_{t-1}^2$ desse modo, a forma funcional que explica a volatilidade do retorno dos contratos futuros de boi gordo, assume a seguinte representação:

$$\sigma_t^2 = 0.000181 + 0.533277 \varepsilon_{t-1}^2 + 0.126815 \varepsilon_{t-2}^2 - 0.387913 \varepsilon_{t-3}^2 - 0.133343 \sigma_{t-1}^2 + 0.857354 \sigma_{t-2}^2 - 0.005717 d_{t-1} \varepsilon_{t-1}^2$$

A principal função desse modelo é reconhecer os efeitos assimétricos à volatilidade condicional captados pelo γ , enquanto que o α da equação identifica a reação da volatilidade e β a persistência. A partir da equação acima, pode-se concluir que a volatilidade do retorno

dos contratos futuros é persistente devido ao alto valor do coeficiente β ($\beta_1 + \beta_2 = 0,724011$). Isso significa que um choque no retorno se propaga ao longo do tempo sobre a volatilidade dos próximos retornos, indicando que a persistência do choque irá se dissipar lentamente. O γ encontrado é diferente de zero (- 0.005717), e por isso, pode-se afirmar que existe assimetria na volatilidade e por esse coeficiente ser negativo o impacto é ainda maior.

Esse resultado corrobora com o que foi encontrado por Mól (2008) para os contratos futuros de boi gordo no período de 1996 a 2005, em que o retorno de boi gordo apresentou alta persistência e assimetria na volatilidade. Evidenciando que um choque de alta e baixa gera impactos diferentes na volatilidade da série.

Na tabela 4.9 são apresentadas as estatísticas descritivas para a volatilidade estimada pelo modelo TARCH (3, 2).

Tabela 4.9: Estatísticas Descritivas das Volatilidades Determinísticas escolhida.

	TARCH (3,2)
Média	0,8353
Mediana	0,781
Máximo	1,1837
Mínimo	0,7649
Desvio Padrão	0,1158
Assimetria	1,417
Curtose	0,6124

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

Pelos valores apresentados na Tabela 4.9 podemos identificar uma discrepância com os valores que foram encontrados pelos demais tipos de volatilidade calculados. A média de 0,835392 está muito acima da real volatilidade anual dos contratos futuros de boi gordo, como foi possível inferir através do gráfico dos retornos e dos preços dos contratos.

4.3 PRECIFICAÇÃO DAS OPÇÕES

Com base nos conceitos apresentados e na metodologia proposta, essa seção tem por objetivo apresentar os resultados obtidos com a aplicação das diferentes volatilidades estimadas (média móvel, EWMA, família GARCH e implícita) ao modelo de Black (1976), gerando seis formas diferentes de precificação das opções sobre futuro de boi gordo.

Os preços teóricos obtidos em cada uma dessas formas de precificação são comparados com os preços efetivamente observados no mercado. Como medidas de

comparação dos modelos de precificação, utilizou-se como medida de erro de previsão, a Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE) a fim de encontrar o método que melhor atenda os resultados esperados. A Tabela 4.10 e 4.11 sintetizam os valores encontrados com a diferença entre os preços teóricos obtidos pelo modelo de Black (1976), utilizando-se das três diferentes modelagens de volatilidade, e os preços de mercado. Por meio dessa diferença é possível identificar se ocorre subestimação ou superestimação dos preços calculados frente ao mercado.

Tabela 4.10: Desempenho do Modelo com volatilidade histórica em relação à estimação dos Prêmios.

Prêmios	VM30		VM60		VM90	
	Observações	RMSE	Observações	RMSE	Observações	RMSE
Mercado > Teórico	2295	1,012963	2996	0,866672	2998	0,989733
Mercado < Teórico	1513	5,1536	1511	5,16	1511	5,1587

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

Tabela 4.11: Desempenho do Modelo com volatilidade EWMA e Determinística em relação à estimação dos Prêmios.

Prêmios	EWMA		TARCH	
	Observações	RMSE	Observações	RMSE
Mercado > Teórico	202	0,587817	0	-
Mercado < Teórico	3606	7,1976	3808	14,214

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

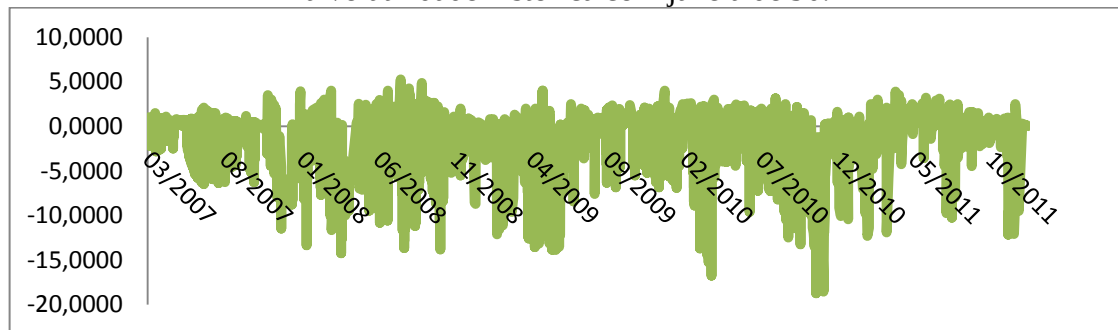
Percebe-se que o modelo que utiliza a volatilidade histórica para as diferentes janelas móveis, subprecifica os valores dos prêmios negociados no mercado, ou seja, em sua maioria, os preços teóricos calculados estão abaixo dos preços praticados no mercado. O erro nessa categoria é relativamente baixo, sendo o melhor resultado para a volatilidade histórica com janela de 60 dias. As observações em que o preço calculado esteve maior que o preço do mercado, apresentaram erros bem semelhantes e consideravelmente altos.

Já na tabela 4.11 os resultados são bem diferentes, tanto a volatilidade EWMA quanto a TARCH superestimam o preço pelo modelo Black, pois os prêmios calculados em sua grande maioria estão acima do prêmio observado no mercado. Para o modelo com volatilidade EWMA os prêmios calculados abaixo do preço do mercado apresentaram um erro baixo (0,58), no entanto essas observações correspondem a uma parcela muito pequena da amostra. A volatilidade estimada pelo método TARCH quando aplicada ao modelo de precificação, superestimou por completo as opções. Nenhum dos prêmios calculados esteve

abaixo do mercado, além disso, foi o modelo que apresentou maior erro (14,21) e consequentemente o pior desempenho.

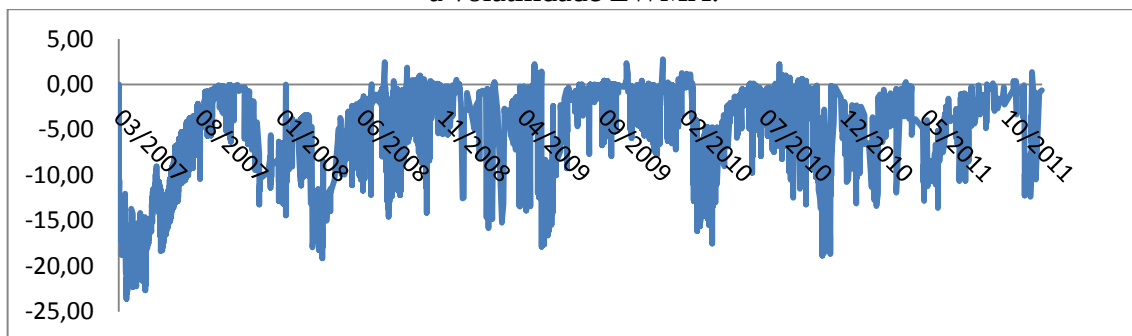
Esses resultados estão ilustrados graficamente nos gráficos 4.8, 4.9 e 4.10 apresentam a diferença entre os preços observados e teóricos para as volatilidades calculadas.

Gráfico 4.8: Diferenças entre preços observados e os preços teóricos calculados utilizando-se a volatilidade histórica com janela de 90.



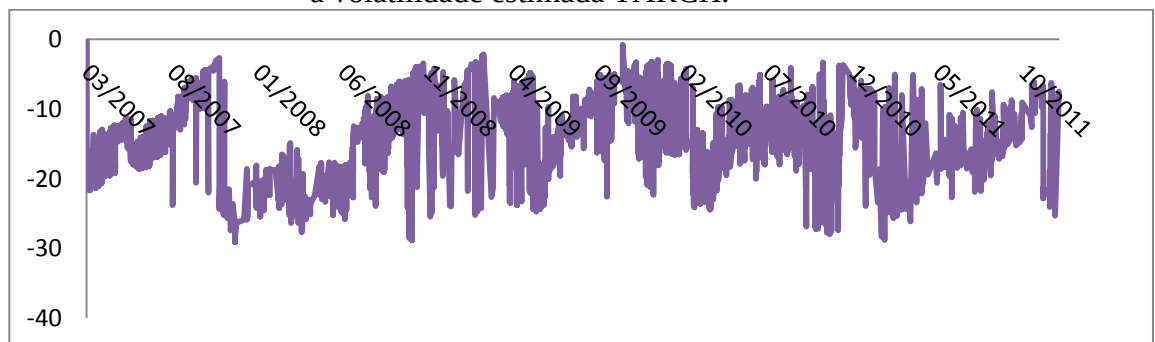
Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

Gráfico 4.9: Diferenças entre preços observados e os preços teóricos calculados utilizando-se a volatilidade EWMA.



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

Gráfico 4.10: Diferenças entre preços observados e os preços teóricos calculados utilizando-se a volatilidade estimada TARCH.



Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

Pode-se perceber que a utilização da fórmula de Black com volatilidade histórica subestima, na maior parte das opções, os preços efetivamente observados e que as opções superestimadas apresentam diferenças maiores em relação ao preço de mercado que as opções que foram subprecificadas.

Para a diferença entre preços teóricos e observados quando se utiliza a volatilidade por EWMA e TARCH a realidade foi diferente. No caso do modelo com EWMA poucas observações estiveram abaixo do preço praticado pelo mercado, representando a superestimação do modelo. Para o modelo TARCH os resultados são ainda mais discrepantes, além de diferenças maiores, as opções foram superestimadas em sua totalidade. Percebe-se que não há grandes modificações quando se altera a janela amostral, ficando clara a subestimação em todos os casos.

De modo geral esses resultados mostram que o modelo tem melhor desempenho para a precificação com volatilidade por média móvel, no qual é observado um maior equilíbrio entre os casos de subprecificação e superprecificação em relação às outras volatilidades. No entanto, o modelo Black não apresentou os resultados esperados para nenhuma das volatilidades estudadas. Esperava-se que o modelo fosse capaz de fornecer prêmios aproximados aos prêmios praticados no pregão, de modo que os agentes pudessem utilizar tal modelo para antecipar o quanto seria pago por uma opção.

Resultado semelhante foi encontrado por Coelho, Pinheiro e Ferreira (2009) que aplicaram as volatilidades histórica (com janelas de 10, 20, 30 e 90) e implícita na fórmula de Black para precificar opções de compra sobre contratos futuros de café. De modo geral, os autores encontraram preços menores que o de mercado e uma grande diferença entre eles, indicando que a utilização da fórmula de Black não fornece boas estimativas dos preços praticados no pregão.

Em seguida é apresentada a análise de desempenho do modelo por meio dos erros em relação aos níveis de *money*ness em que as opções foram classificadas anteriormente.

Tabela 4.12: Desempenho do Modelo com volatilidade histórica em relação nível de *Money*ness.

Classificação		VM30	VM60	VM90
	Observações	RMSE	RMSE	RMSE
ATM	2049	2,94	1,27	1,27
ITM	1096	4,37	5,96	5,95
OTM	663	2,38	0,56	0,56

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

Tabela 4.13: Desempenho do Modelo com volatilidade EWMA e Determinística em relação ao nível de *Moneyness*.

Classificação	EWMA		TARCH
	Observações	RMSE	RMSE
ATM	2049	5,07	12,09
ITM	1096	9,69	18,25
OTM	663	6,86	12,49

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

Pelos resultados apresentados nas tabelas acima, observa-se que os modelos com volatilidade histórica e janelas móveis de 60 e 90 dias apresentaram erros iguais para os três níveis de *moneyness*, sendo mais baixos que os erros encontrados com a volatilidade VM30 para as opções no dinheiro (ATM) e fora do dinheiro (OTM). Apenas para as opções dentro do dinheiro (ITM) o modelo com janela móvel de 30 dias obteve melhor precificação, visto que o valor do erro foi menor que para os demais. De forma geral o modelo de precificação com volatilidade histórica mostrou melhor desempenho para as opções fora do dinheiro.

Os modelos representados na Tabela 4.13 mais uma vez tiveram pior desempenho que os modelos com volatilidade histórica. Como podem ser observados os erros na precificação, de acordo com o nível de *moneyness* das opções, para o EWMA e para o TARCH foram muito maiores que os modelos com volatilidade histórica, sendo o TARCH o de pior desempenho dentre os dois. Para esses modelos as opções melhor precificadas foram as opções no dinheiro com erro de 5,07. Este estudo mostra o resultado da classificação quanto à probabilidade de exercício.

Com a análise da precificação quanto ao período de maturidade, busca-se identificar o impacto que o tempo até o vencimento exerce na precificação das opções. Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 4.14 e 4.15.

Tabela 4.14: Desempenho do Modelo com volatilidade histórica em relação ao período de maturidade.

Classificação	VM30		VM60	VM90
	Observações	RMSE	RMSE	RMSE
n < 30	714	3,06	2,37	2,37
30 < n < 60	955	3,18	3,25	3,25
n > 60	2189	3,48	3,63	3,63

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

Tabela 4.15: Desempenho do Modelo com volatilidade EWMA e Determinística em relação ao período de maturidade.

Classificação		EWMA	TARCH
	Observações	RMSE	RMSE
n < 30	714	2,62	7,11
30 < n < 60	955	3,74	10,50
n > 60	2189	8,87	17,12

Fonte: Resultados da Pesquisa, 2012.

Para precificação de opções utilizando a volatilidade histórica, de modo geral, os melhores resultados são obtidos nas opções com curto prazo de maturidade ($n < 30$) seguido pelo médio e por fim as opções com longo prazo de maturidade. Novamente, cabe destacar que os modelos com volatilidade VM60 e VM90 obtiveram valores iguais para os três prazos de maturidade. Para os modelos da Tabela 4.15, o EWMA apresentou melhor desempenho que o TARCH em todos os períodos de maturidade. Desse modo para as opções com vencimento em até 30 dias e as opções com vencimento superior a 60 dias o melhor modelo de precificação encontrado é aquele que utiliza as volatilidades históricas VM60 e VM90, enquanto que as opções com maturidade média são melhores precificadas com a volatilidade VM30.

5 CONCLUSÕES

Nos últimos anos o setor de carne bovina tem aumentado sua importância para a economia brasileira, consolidando-se como o maior exportador mundial é um dos principais destaques do agronegócio brasileiro no cenário internacional. No entanto, assim como as demais *commodities* agropecuárias este setor é afetado por vários riscos, dentre eles o risco de oscilação nos preços que afeta diretamente os produtores e frigoríficos. Dentre as principais formas de gerenciamento de risco, estão os mercados futuros e de opções, que por meio da fixação de um preço permitem ao agente garantir antecipadamente a sua lucratividade, reduzindo a exposição ao risco de preços. Em face desta importância do setor e de sua necessidade de instrumentos de gestão de riscos, este trabalho teve como objetivo aplicar o modelo de Black à precificação de opções sobre contrato futuro de boi gordo negociadas na BM&FBOVESPA.

Os dados utilizados no estudo foram obtidos junto a BM&FBOVESPA através do Sistema de Recuperação de Informações. O período de tempo escolhido foi de 01 de janeiro de 2007 a 30 de dezembro de 2011 e se deu na tentativa de incorporar os diferentes movimentos nos preços gerados pelo ciclo do boi gordo. Foram considerados apenas os contratos de opção de compra que tiveram valor de fechamento diferente de zero e com prazo de vencimento maior que 5 dias, sendo aplicado ainda um filtro para exclusão de *outliers* com base no teste de Grubs aplicado ao nível de *moneyness* das opções. O que se destaca nessa fase é a diminuição de vieses nos últimos dois anos da análise, indicando uma melhoria no mercado de opções sobre contratos futuros de boi gordo no que se refere à precificação.

As opções foram então classificadas quanto à sua proximidade do dinheiro e quanto ao tempo de maturidade. O índice de *moneyness* indica o quão próximo do dinheiro a opção se encontra, servindo como um indicativo da probabilidade de exercício da opção. Mais da metade das opções sobre contratos futuros de boi gordo são classificadas como opções *at-the-money* (no dinheiro), quanto mais próxima do dinheiro uma opção está maiores são as chances de o agente exercer a opção. A segunda forma de categorização das opções dividiu as opções quanto ao seu prazo de vencimento e mostrou predominância das opções de compra com prazo de maturidade superior a 60 dias (56,17% das opções analisadas).

Quanto às volatilidades, aplicou-se o método de volatilidade histórica com janelas móveis, o EWMA, a volatilidade implícita e alguns modelos de volatilidade determinística. Cabe destacar a persistência da volatilidade dos contratos futuros de boi gordo identificada

pelo modelo TARCH. Isso significa que choques ocorridos nos preços dos contratos irão se dissipar lentamente ao longo do tempo. Além disso, a assimetria encontrada na volatilidade indica que um choque de alta e baixa gera impactos diferentes na volatilidade da série.

Os preços teóricos obtidos em cada uma dessas formas de precificação foram comparados com os preços efetivamente observados no mercado. Utilizou-se como medida de erro de previsão, a Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE) a fim de encontrar o método que melhor atenda os resultados esperados. A aplicação das volatilidades encontradas ao modelo de precificação de Black não gerou resultados definitivos, no entanto o modelo com volatilidade histórica foi o que apresentou melhor desempenho de acordo com o resultado dos erros. Os demais modelos de volatilidade superprecificaram os prêmios das opções e obtiveram os erros mais elevados tanto na análise com relação ao nível de *moneyness* quanto a análise levando em consideração o prazo de vencimento.

Dessa forma, pode-se inferir que a fórmula de precificação de opções de Black não pode ser considerada como um bom modelo para realizar previsões a respeito do preço de opções sobre contrato futuro de boi gordo no mercado brasileiro, podendo levar o agente a tomar decisões erradas visto que com o uso da fórmula as opções foram sub e superprecificadas. Devido à importância que a volatilidade tem para essa fórmula, não é possível afirmar que seriam obtidos resultados semelhantes se outros métodos de estimação da volatilidade tivessem sido escolhidos.

A principal limitação desse trabalho está na quantidade de modelos de precificação e técnicas de volatilidade que foram empregadas. Dentre os vários modelos de precificação existentes, optou-se por empregar apenas o modelo de Black, deixando de fora da análise vários outros modelos da família Black e Scholes, os também bastante utilizados modelos numéricos e tantos outros. Apesar de ter aplicado diferentes métodos de volatilidade, técnicas como as de volatilidade estocástica, de opção composta, de difusão deslocada, de variância com elasticidade constante, puro com saltos e de difusão com saltos poderiam ter sido escolhidas e desta forma tornar o estudo mais abrangente. Apesar das limitações do trabalho, acredita-se que seu objetivo tenha sido atingido, visto que, o desempenho do modelo de Black aplicado à precificação de opções sobre contrato futuro de boi gordo foi avaliado, bem como a relação dos preços teóricos e os preços do mercado.

REFERÊNCIAS

- ABITANTE, K. G. Co-integração entre os mercados spot e futuro: evidências dos mercados de boi gordo e soja. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 46,n. 1, Mar. 2008 .
- ABUSSAMRA, L. F. Gestão de riscos no agronegócio. **Revista AgroAnalysis**, n. 26, 2006.
- AMADO, C. F. P.; CARMONA, C. U. M. Uma Análise da Eficiência dos Mercados Futuros Agrícolas Brasileiros. In: Quarto Encontro Brasileiro de Finanças, 2004, Rio de Janeiro. **Anais do Quarto Encontro Brasileiro de Finanças**, 2004.
- ANDERSON, R. W. Some determinants of the volatility of futures prices. **Journal of Futures Markets**, v.5, p. 331–348,1985.
- ANDERSON, R. W.; DANTHINE, J. P. Time and pattern of hedging and the volatility of futures prices. **Review of Economic Studies**, v. 50, p. 249–266, 1983.
- ANDERSON, R. W.; DANTHINE, J. P.. Hedging and joint production: theory and illustrations. **Journal of Finance**, v. 35, p. 487–498, 1980.
- ANDREOU, E.; PITTIS, N.; SPANOS, A. On modelling speculative prices: the empirical literature. **Journal of Economic Surveys**,v.15, p. 187–220.2001.
- AZEVEDO, H. D. O.;BARBACHAN, J. F. Apreçamento de derivativos bidimensionais. **IBMEC Business School**, São Paulo, 2004.
- BAPTISTA, Diana M., AGUIAR, Danilo R. D. Viabilidade de estratégias de *hedge* com contratos futuros de boi gordo no Brasil. **Revista Análise Econômica**, Porto Alegre, ano2, n.46, p. 63-86, Set.2006.
- BARTTER, B., RENDLEMAN, R. Two State Option Pricing. **Journal of Finance**, n. 34, p. 1093-1119, 1979.
- BARROS, G. S. C. *et al.* **Mercados futuros e política agrícola no Brasil**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Economia, Administração e Sociologia, 2000.
- BARROS, A. M.; AGUIAR, Danilo R. D. Gestão do risco de preço de café arábica: uma análise por meio do comportamento da base. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 43, n. 3, Set. 2005.
- BLACK, F. The pricing of *commodity* contracts. **Journal of Financial Economics**, v. 3, p. 167-179, 1976.
- BLACK, F.; Scholes, M.The Pricing of Options and Corporate Liabilities, **Journal of Political Economy**, v. 81, p. 637-659,1973.
- BOLLERSLEVE, T. Generalized Autorregressive Conditional Heteroskedasticity. **Journal of Econometrics**, v. 31, p. 303-27, 1986.

BOLSA DE MERCADORIAS E FUTUROS. **Futuros de Boi gordo e Bezerro - Folheto**, 2006. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt-br/a-bmfbovespa/download/series-mercados_futuros-de-boi-gordo-e-bezerro.pdf> Acessado em: 12/04/2012.

BOLSA DE VALORES, MERCADORIAS E FUTUROS – BM&FBOVESPA. **Relatório Agropecuário Mensal**, Dezembro 2011. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/portal/pages/imprensa1/relatórios/relatoriosAgropecuarios.asp>. Acessado em: 12/04/2012.

BONESS, J. Elements of a theory of stock-option value. **Journal of Political Economy**, v. 72, p. 163-175, 1964.

BOYLE, P. Options: a Monte Carlo approach. **Journal of Financial Economics**, v. 4, p. 323-338, 1977.

BOYLE, P.; EVNINE, J.; GIBBS, S. Numerical evaluation of multivariate contingent claims. **Review of Financial Studies**, n. 2, 1989.

BOYLE, P. A lattice framework for option pricing with two state variables. **Journal of Financial and Quantitative Analysis**, n. 1, p. 1-12, 1988.

BRENNAN, M. J.; SCHWARTZ, E. S. The valuation of American put options. **The Journal of Finance**, v. 32: 449-62, 1977.

BRENNER, M.; COURTADON, G.; SUBRAHMANYAM, M. Options on the spot and options on futures. **The Journal of Finance**, v. 40, nº 5, 1985.

BROSEN, B. W. Liquidity costs and scalping returns in the corn futures market. **Journal of Futures Markets**, v. 9, p. 225–236, 1989.

CARLTON, D. W. Futures Markets: Their Purpose, Their History, Their Growth, Their Successes and Failures. **The Journal of Futures Markets**, v. 4, n. 3, p. 237-271, 1984.

CHALAMANDARIS, G.; MALLIARIS, A. G. Itô's Calculus and the Derivation of the Black-Scholes Option-Pricing Model. In: **HANDBOOK OF QUANTITATIVE FINANCE**, organização de Lee, C. F.; Lee, Alice C. 2008.

CHANCE, Don M. A Chronology of Derivatives. **Derivatives Quarterly** v. 2 p. 53-60, 1995.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - ESALQ/USP. Disponível em: <www.cepea.esalq.usp.br> Acesso em: 5 de março de 2012.

CHEN, S. S.; LEE, C. F.; SHRESTHA, K. Futures *hedge* ratios: a review. **Quarterly Review of Economics and Finance**, v. 43, p. 433–465, 2003.

COELLHO, A. B.; PINHEIRO, S. C.; F. V. FERREIRA. A Fórmula de Black Precifica Corretamente as Opções de Compra Sobre Futuros Agropecuários no Brasil? Uma Aplicação para o Caso do Café Arábica. **Pesquisa & Debate**, SP, v. 20, n. 2 (36) p. 299-315, 2009.

COX, J.; S. ROSS. The Valuation of Options for Alternative Stochastic Processes, **Journal of Financial Economics**. v.3, p. 145- 166, 1976.

COX, J. C.; Ross, S. A.; Rubinstein, M. Option pricing: a simplified approach. **Journal of Financial Economics**, n. 7, p. 229-263, 1979.

COX, J. C.; INGERSOLL JR, J. E.; ROSS, S. A. The Relation Between Forward Prices and Futures Prices. **Journal of Financial Economics**, v. 9, p. 321-346, 1981.

COX, J. C.; RUBINSTEIN, M. **Options Markets**, Prentice-Hall, 1985.

CORNELL, B. The relationship between volume and price variability in futures markets. **Journal of Futures Markets**, v. 1, p. 303–316, 1981.

CRAIN, S. J.; LEE, J. H. Volatility in wheat spot and futures markets, 1950– 1993: government farm programs, seasonality and causality. **Journal of Finance**, v. 51, p. 325–343, 1996.

FARHI, M. Derivativos financeiros: *hedge*, especulação e arbitragem. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 13, p. 93-114, dez. 1999.

DE ZEN, S. Aspectos da produção de carne e as tendências do mercado nacional. **I Simpósio de Produção de Gado de Corte**. 1999.

DUARTE, Elisabete F. M. Análise das relações entre a volatilidade histórica e implícita e a volatilidade realizada do índice PSI-20. **Conocimiento, innovación y emprendedores: camino al futuro**, 2007.

DUMAS, B.; FLEMING, J.; WHALEY, R. E. Implied Volatility Functions: Empirical Tests. **The Journal of Finance**, v. 53, p. 2059–2106, 1998.

EDERINGTON, L. H. The hedging performance of the new futures markets. **Journal of Finance**, v.34, p. 157–170.1979.

ENDE, M. V. **Comportamento dos Preços dos Contratos Agropecuários Negociados na BM&F: A Hipótese de Normal Backwardation no Mercado Futuro Brasileiro**. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

ENGLE, R. F. Autoregressive conditional heteroskedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. **Econometrica**, v. 50, n. 4, p. 987-1007, 1982.

FERNANDES, E. A. Andrea Marques Serrano Lima; Danilo Rolim Dias Aguiar. O Comportamento do Preço à vista e Futuro de Café no Brasil: o *hedge* como Opção de Redução de Risco. **CONGRESSO SOBER**, 2005.

GABE, J.; PORTUGAL, M. S. Volatilidade implícita versus volatilidade estatística: um exercício utilizando opções e ações da Telemar S.A. **Revista Brasileira de Finanças**, v. 2, n. 1, p. 47-73, 2004.

GAIO, L. E.; BITENCOURT, W. A.; PESSANHA, G. R. G.; OLIVEIRA, A. R.; LIMA, A. L. R. Volatilidade no mercado futuro de boi gordo na BM&F: Um estudo empírico utilizando modelos da classe ARCH. In: **Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural**, 2006.

GAIO, L. E.; CASTRO JUNIOR, L. G.; OLIVEIRA, A. R. Causalidade e Elasticidade na Transmissão de preços do boi gordo entre regiões do Brasil e a Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F). **Organizações Rurais e Agroindustriais**, Lavras, v. 7, n. 3, p.282-297, 2005.

GAIO, L. E.; CASTRO JUNIOR, L. G.; OLIVEIRA, A. R. Previsão de preço futuro de boi gordo na BM&F: Uma comparação entre modelos de séries temporais e redes neurais. **Organizações Rurais e Agroindustriais**, v. 9, p. 272-288, 2007.

GARCIA, P., LEUTHOLD, R. M.; SARHAN, M. E. Basis risk: measurement and analysis of basis fluctuations for selected livestock markets. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 66, p. 499–504, 1984.

GARCIA, P.; SANDERS, D. R. Ex ante basis risk in the live hog futures contract: has hedgers' risk increased? **Journal of Futures Markets**, v. 16, p. 421–440, 1996.

GESKE, R. A Note on An Analytic Valuation Formula for Unprotected American Call Options on Stocks With Known Dividends. **Journal of Financial Economics**, v.7, 375-380, dez. 1979.

GIOT, P. The Information Content Of implied Volatility in Agricultural *Commodity* Markets. **The Journal of Futures Markets**, v. 23, n. 5, p. 441–454, 2003.

GRANT, D.; EAKER, M. Complex hedges: how well do they work? **Journal of Futures Markets**, v. 9, p. 15–27, 1989.

GIRISH, V. S. A Brief History of Derivatives. **The Banking & Financial World**, p. 19-21, nov. 2010.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. Porto Alegre: McGrawHill Bookman, 5a ed., 2011.

HEIFNER, R. G. The gains from basing grain storage decisions on cash-spreads. **Journal of Farm Economics**, v. 48, p. 1490–1495, 1966.

HESTON, S.L. A closed Form Solution for Options. **Review of Financial Studies**, v. 6, p. 327-343, 1993.

HOLTHAUSEN, D. M. Hedging and the competitive firm under price uncertainty. **American Economic Review**, v. 69, p. 989–995, 1979.

HOTTA, L. K.; LAURINI, M. P.; MOLLICA, M.; PEREIRA, P. L. V. Modelos Econométricos para Estimção de Volatilidade. In: **Gestão de Riscos no Brasil**/ Organizadores Antonio M. Duarte Jr., Gyorgy Varga. Rio de Janeiro: Financial Consultoria, 2003.

HULL, J. C. **Fundamentos dos Mercados Futuros e de Opções**. São Paulo: Bolsa de Mercadorias & Futuros, 4ª ed., 2005.

HULL, J. C.; WHITE, A. The Pricing of Options on Assets with Stochastic Volatilities. **The Journal of Finance**, v. 42, p. 281-300, 1987.

IGREJA, A. C. M. **Evolução da pecuária de corte no estado de São Paulo no período 1969-84**. Piracicaba, 1987. 197 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

JARROW, R. Option Pricing Theory: Historical Perspectives. **Encyclopedia of Quantitative Finance**, publicação online: 15 de maio de 2010.

JIANG, B.; HAYENGA, M. Corn and soybean basis behavior and forecasting: fundamental and alternative approaches. In B. W. Brorsen (ed.), **Proceedings of NCR-134 Conference on Applied Commodity Price Analysis, Forecasting, and Market Risk Management**, Department of Agricultural Economics, Oklahoma State University, Stillwater, OK , 125–140, 1997.

JOHNSON, L. L. The theory of hedging and speculation in *commodity* futures. **Review of Economic Studies**, v. 27, p. 139–151, 1960.

KALDOR, N. Speculation and economic stability. **Review of Economic Studies**, v. 7, n. 1, 1939.

KAMARA, A. Issues in futures markets: a survey. **Journal of Futures Markets**, v. 2, p. 261–294, 1982.

KAMRAD, B.; RITCHKEN, P. Multinomial approximating models for option with K state variables. **Management Science**, v. 37, n. 12, 1991.

KASSOUF, A. L. **Previsão de preços na pecuária de corte do Estado de São Paulo**. Piracicaba. 102 p. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1988.

KENYON, D. E.; KLING, K.; JORDAN, J.; SEALE, W.; MCCABE, N. Factors affecting agricultural futures price variance. **Journal of Futures Markets**, v. 7, p. 73–91, 1987.

KLOTZLE, M. C.; PINTO, A. C. F.; SIMÕES, M. D.; GOMES, L. L. Análise da Efetividade de Políticas de *hedge* no Mercado de Dólar Futuro no Brasil. **Revista Brasileira de Finanças**, Rio de Janeiro, v. 9, nº. 3, p. 365–382, 2011

LAPAN, H.; MOSCHINI, G. Futures hedging under price, basis, and production risk. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 76, p. 465–477, 1994.

LEE, R. W. Implied Volatility: Statics, Dynamics, and Probabilistic Interpretation. **Recent Advances in Applied Probability**, 2004.

LENCE, S. H.; SAKONG, Y.; HAYES, D. J. Multiperiod production with forward and options markets. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 76, p. 286–295, 1994.

LEUTHOLD, R. M.; TOMEK, W. G. Developments in the livestock futures literature. In R. M. Leuthold and P. Dixon (eds), *Livestock Futures Research Symposium*. Chicago: Chicago Mercantile Exchange, p. 39–67, 1980.

LIEN, D. The effect of the cointegration relationship on futures hedging: a note. **Journal of Futures Markets**, v. 16, p. 773–780, 1996.

LIEN, D.; TSE, Y. K. Some recent developments in futures hedging. **Journal of Economic Surveys**, v. 16, p. 357–396, 2002.

LINTNER, J. The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets. **Review of Economics and Statistics**, v. 47, n. 1, p. 13–37, 1965.

LIU, S. M.; BRORSEN, B. W.; OELLERMANN, C. M.; FARRIS, P. L. Forecasting the nearby basis of live cattle. **Journal of Futures Markets**, v. 14, p. 259–273, 1994.

LUCHIARI FILHO, A. Produção de carne bovina no Brasil qualidade, quantidade ou ambas? **II SIMBOI - Simpósio sobre Desafios e Novas Tecnologias na Bovinocultura de Corte**, 2006.

MACBETH, J.; L. MERVILLE. An Empirical Examination of the Black-Scholes Call Option Pricing Model. **Journal of Finance**, v. 34, p. 1173–86, 1979.

MARQUES, P. V.; MELLO, P. C. Mercados **Futuros de commodities agropecuárias**: exemplos e aplicações para o mercado brasileiro. São Paulo: BM&F, 1999.

MARQUES, P.V.; MELLO, P. C.; MARTINES FO, J.G. **Mercados Futuros e de Opções Agropecuárias**. Piracicaba, S.P., Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Esalq/USP, Série Didática nº D-129, 2005.

MATHEWS, K. H.; HOLTHAUSEN, D. M. A simple multiperiod minimum risk *hedge* model. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 73, p. 1020–1026, 1991.

MATTOS, F.; GARCIA, P. Price Discovery in Thinly Traded Markets: Cash and Futures Relationships in Brazilian Agricultural Futures Markets. **NCR-134 Conference on Applied Commodity Price Analysis, Forecasting, and Market Risk Management St. Louis**, Missouri, Abril, p. 19–20, 2004.

MCKINNON, R. I. Futures markets, buffer stocks, and income stability for primary producers. **Journal of Political Economy**, v. 75, p. 844–861, 1967.

MERTON R. C. The Theory of Rational Option Pricing. **Bell Journal of Business**, v. 40, p. 393–413, 1973.

MERTON, Robert. Option Pricing When Underlying Stock Returns are Discontinuous. **Journal of Financial Economics**. v. 3 p. 125–44, 1976.

MILLER, S. E. Simple and multiple cross-hedging of millfeeds. **Journal of Futures Markets**, v.5, p. 21–28, 1985.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal/especies/bovinos-e-bubalinos>>. Acessado em: 12 de agosto de 2012.

MODIGLIANI, F.; MILLER, M. H. The cost of capital, corporation finance, and the theory of investment. **American Economic Review**, v. 48, p.261-97, 1958.

MÓL, A. L. R. Séries de Tempo com Erros não Lineares: uma avaliação da persistência e assimetria na volatilidade de derivativos de café e boi gordo na BM&F. **Interface**. Natal/RN - v. 5 - n. 2 - jul./dez. 2008.

MONTEZANO, R. M. **Introdução aos mercados futuros de índices de ações**. São Paulo, BM&F/IBMEC, 1987.

MORETTIN, P.A.; TOLOI, C.M. **Análise de Séries Temporais**. Edgar Blucher Ltda. São Paulo, 2004.

MÜLLER, C. A. S.; MOURA, A. D.; LIMA, J. E. Análise comparativa entre estratégias de *hedge* com base em modelos estáticos e dinâmicos para contratos futuros de café arábica. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL**, 2008, Rio Branco. Anais... Rio Branco: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2008. p. 21.

MYERS, R. J.; THOMPSON, S. T. Generalized optimal *hedge* ratio estimation. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 71, p. 858–868, 1989.

NELSON, D. Conditional heteroskedasticity in assets returns: a new approach. **Econometrica**, v. 59, n. 2, p. 347-70.

NEVES, M. E.; COUTO, M. T. Confinamento de bovinos de corte: condicionantes econômicos e instrumentos de apoio à tomada de decisão. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. **Bovinocultura de corte: fundamentos da exploração racional**. 3. ed. Piracicaba: FEALQ, 1999. p. 231-67.

OLIVEIRA, A. R.; GAIO, L. E.; BITENCOURT, W. A.; CASTRO JÚNIOR, L. G. Pecuária de corte brasileira: um estudo dos principais aspectos produtivos e mercadológicos. **Revista Científica Symposium**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 41-51, 2006.

PARKINSON, Michael. The Extreme Value Method for Estimating the Variance of the Rate of Return. **The Journal of Business**, v. 53, n. 1, p. 61-65, 1980.

PARCELL, J. L., SCHROEDER, T. C.; DHUYVETTER, K. C. Factors affecting live cattle basis. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, v. 32, p. 531–541, 2000.

PEREIRA, E. S; MAIA, S. F. Formação de Preços e Finanças Comportamentais: um estudo empírico no mercado futuro de cacau. In: **Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural**, 2009.

PECK, A. E. Measures and price effects of changes in speculation on the wheat, corn, and soybean futures markets. In *Research on Speculation*. **Chicago: Chicago Board of Trade**, p. 138–149, 1981.

PENNINGS, J. M. E.; LEUTHOLD, R. M. The role of farmer's behavioral attitudes and heterogeneity in futures contract usage. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 82, p. 908–919, 2000.

PENNINGS, J. M. E.; GARCIA, P. Hedging behavior in small and medium-sized enterprises: the role of unobserved heterogeneity. **Journal of Banking and Finance**, v. 28, p. 951–978, 2004.

RAMOS DA SILVA, T. J. **Uma avaliação da aplicação do modelo Black & Scholes para precificação de opções de futuro de café arábica da BM&F**. (Dissertação de mestrado) - Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2003.

RICHARD, Scott F.; SUNDARESAN, M. A Continuous Time Equilibrium Model Of Forward Prices And Futures Prices In A Multigood Economy. **Journal of Financial Economics**, v. 9, p. 347–371, 1981.

ROCHELLE, T. C. P. **O contrato futuro de boi gordo: uma análise do impacto da introdução da liquidação financeira sobre o risco de base**. Piracicaba, 1997. 140 p. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

ROCHELLE, T. C. P.; FERREIRA FILHO, J. B. S. Cash settlement impact on fed cattle futures contract basis risk in Brazil. **Revista Brasileira de Economia**, vol.54, nº.2, p.141-163 Jun. 2000.

RODRIGUES, F. L. **Implementação de Métodos Numéricos para Precificação de Opções com Distribuição Não-Gaussiana**. (Dissertação de mestrado) UFPB-PPGE, João Pessoa, 2006.

RUBINSTEIN, Mark. Displaced Diffusion Option Pricing, **Journal of Finance**, vol. 38, p. 213–217, 1983.

RUBINSTEIN, M. Nonparametric Test of Alternative Option Pricing Models Using All Reported Trade and Quotes on the 30 most Active CBOE Option Classes. **Journal of Finance**, v. 40, p. 455–80, 1985.

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 Adm. UFSM**, Santa Maria, v. 1, n. 3, p. 402–417, set./dez. 2008.

ROSS, S. A. Options and efficiency. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 90, nº 1, p. 75–89, 1976.

SAITO, R.; ROCHMAN, R. Análise de Métodos Numéricos para Precificação de Opções. **Relatório do NPP, EAESP/FGV**, 1999.

SAITO, R.; ROCHMAN, R. Avaliação De Métodos Numéricos Para Precificação De Derivativos: Revisão E Aplicação À Opção De Compra De Telebrás PN.**REAd** Edição 61, vol. 14, n. 3, Set/Dez. 2008.

SAMUELSON, P. Proof that properly anticipated prices fluctuate randomly. **Industrial Management Review**, v. 6, p. 41–49, 1965.

SCHWARTZ, Eduardo S. The value of warrants: implementing a new approach. **Journal of Financial Economics**, v. 4, p. 79:93, 1977.

SHARPE, W. F. Capital Asset Prices: A Theory of market equilibrium under conditions of risk. **Journal of Finance**, v.19, p. 425-42, 1964.

SHARPE, W.; ALEXANDER, G. **Investments**.4^a ed. Prentice Hall. Englewood Cliffs, 1990.

SILVA, L. D. C.; MAIA, S. F.. O modelo Black & Scholes para Precificação de opções do mercado futuro: uma análise para o café arábica da BM&FBovespa. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 58, n. 2, p. 57-70, jul./dez. 2011.

SMITH JR. C. S. Option Pricing: A Review. **Journal of Financial Economics**, v. 3, p. 3-51, 1976.

SOUZA, G.C.U.I.; SAMANEZ, C.P. Avaliação de opções de troca e opções de spread europeias e americanas, **Trabalhos para Discussão - Banco Central do Brasil**, Banco Central do Brasil, Brasília-DF, n. 165, p. 01-53, 2008.

SPRENKLE, C. Warrant Prices as Indications of Expectations. **Yale Econ**, v.1 p. 179-232, 1961.

STEIN, J. L. The simultaneous determination of spot and futures prices. **American Economic Review**, v. 51, p. 1012–1025, 1961.

STOLL, H. R.; WHALEY, R. E. The new option markets; in Anne E. Peck, ed: **Futures Markets: Their Economic Role** (American Enterprise Institute for Public Policy Research, Washington, D.C.), 1985.

STRAJA, S. R. Stochastic Modeling of Stock Prices. **Montgomery Investment Technology**, 1997.

STREETER, D. H.; TOMEK, W. G. Variability in soybean futures prices: an integrated framework. **Journal of Futures Markets**, v. 12, p. 705–728, 1992.

TILLEY, D. S.; CAMPBELL, S. K. Performance of the weekly Gulf–Kansas City hard-red winter wheat basis. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 70, p. 929–935, 1988.

TOMEK, W. G. *Commodity* futures prices as forecasts. **Review of Agricultural Economics**, v. 19, p. 23–44, 1997.

TOMEK, W. G.; Peterson, H. H. Risk management in agricultural markets: a review. **Journal of Futures Markets**, v. 21, p. 953–985, 2001.

TONIN, J.M. **Aplicabilidade dos modelos de precificação para as opções sobre contratos futuros de café arábica na BM&FBOVESPA**. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Economia Rural, Viçosa, Minas Gerais, 2009a.

TONIN, J. M.; BRAGA, M. J.; COELHO, A. B. Efetividade de *hedge* do milho com contratos futuros da BM&F: uma aplicação para a região de Maringá (PR). **Revista de Economia**, Editora UFPR, v. 35, n. 1 (ano 33), p. 117-142, jan./abril, 2009b.

WARD, R. W. Market liquidity in the FCOJ futures market. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 56, p. 150–154, 1974.

WHALEY, R. Valuation of American Call Options on Dividend-Paying Stocks: Empirical Tests, **Journal of Financial Economics**, v. 10, p. 29-58, 1982.

WHALEY, R. On Value American Future Options. **Financial Analysts Journal**. Maio/Jun 1986.

WORKING, H. Futures trading and hedging. **American Economic Review**, n. 3, 1953.

WORKING, H. New concepts concerning futures markets and prices. **American Economic Review**, v. 52, p. 431–459, 1962.

YOSHINO, J. Uma metodologia para a estimação do risco no mercado acionário brasileiro: preço Arrow-Debreu. **Pesquisa Plan. Econ.**, v. 31, n. 1, abr. 2001.

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

ZVI BODIE; MERTON, R. C. **Finanças**. Editora Bookman, 1ª ed., 1999.

APÊNDICE A - Modelos Numéricos de Precificação de Opções

Os modelos numéricos para precificação de opções surgiram como alternativa ao modelo desenvolvido por Black e Scholes (1973) e demais modelos que consideram o tempo contínuo na análise. Os métodos numéricos podem ser divididos basicamente em três categorias: os métodos *lattice* proposto inicialmente por Cox, Ross e Rubinstein (1979) e Rendleman e Bartter (1979) que utilizaram um processo discreto no tempo e binomial no espaço para calcular o preço de uma opção; o método de Simulação de Monte Carlo, cuja primeira aplicação em finanças foi realizada por Boyle (1977) e os métodos para solução de equações diferenciais parciais, com destaque para os métodos de diferenças finitas, introduzidos por Schwartz (1977) e Brennan e Schwartz (1977) (SOUZA, SAMANEZ e RAPOSO, 2008).

Cox, Ross e Rubinstein (1979) foram os precursores na abordagem *lattice* binomial para avaliação de opções. A ideia básica desta abordagem é substituir a distribuição contínua do preço dos ativos por uma distribuição discreta de dois pontos ao longo de sucessivos pequenos intervalos de tempo. O valor verdadeiro da opção é alcançado pelo aumento no número de passos, o que levou a ser conhecido também como modelo de árvores binomiais (BOYLE, 1988). Extensões e generalizações deste modelo também foram desenvolvidas, principalmente com foco na avaliação de derivativos multidimensionais, como os trabalhos de Boyle (1988), Boyle, Evnine e Gibbs (1989) e Kamrad e Ritchken (1991).

A ideia básica dos métodos de diferenças finitas é aproximar as derivadas parciais de uma equação diferencial pelas diferenças finitas correspondentes. Feitas as substituições na equação diferencial, esta pode ser resolvida “de trás para frente”, de uma forma recursiva. Uma malha ou grade é definida para representar os possíveis valores que o tempo e o preço da ação podem assumir. A grade é representada pelo valor máximo que o preço da ação pode assumir, pelo prazo até o vencimento da opção, e pelos intervalos de tempo Δt e de preço da ação ΔS . Quanto menores forem os intervalos de tempo, maior será a precisão dos resultados esperados, no entanto o tempo de computação também será maior (SAITO; ROCHMAN, 1999).

A Simulação de Monte Carlo consiste em um procedimento onde números aleatórios são gerados de acordo com uma distribuição de probabilidade que representa a sua fonte de incerteza. Os resultados desta simulação são analisados para determinar o risco associado e o valor esperado de determinada variável. O primeiro uso da simulação de Monte Carlo em finanças realizado por Boyle (1977) para precificação de opções europeias pode ser estendido

para a precificação de opções com dividendos discretos ou contínuos. Também é possível a combinação de processos estocásticos contínuos e com salto (SAITO; ROCHMAN, 2006).

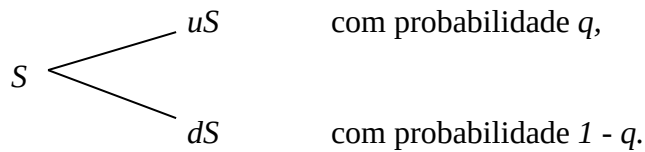
1A. Modelo Binomial

A abordagem binomial ou modelo de árvores assume que as negociações acontecem no tempo discreto, ou seja, numa base período por período. Este modelo é um diagrama que representa os possíveis diferentes caminhos que podem ser seguidos pelo preço do ativo durante o período de vida da opção. De acordo com esta abordagem o preço da ação (preço do ativo subjacente) pode assumir apenas dois possíveis valores em cada período, podendo subir ou descer. Tal método foi desenvolvido praticamente na mesma época, de forma independente, por Bartter e Rendleman (1979) e Cox, Ross e Rubinstein (1979).

Os dois métodos seguem basicamente as mesmas hipóteses, no entanto o modelo CRR ganhou maior popularidade devido à sua fácil aplicação, pois exige basicamente conhecimentos em probabilidades, por outro lado, as suposições sobre os parâmetros do modelo tornam suas aplicações limitadas. Apesar de mais intuitivo o modelo RB tem uma derivação mais complicada (LEE et al., 2010).

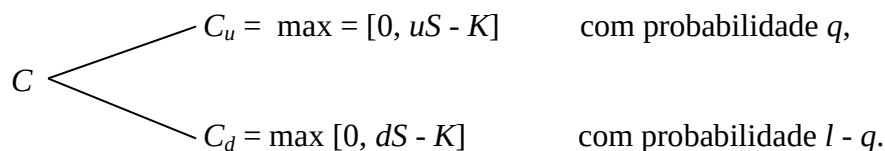
Cox, Ross e Rubinstein (1979) baseiam-se em uma sugestão de Willian Sharpe, em utilizar a abordagem de tempo discreto na precificação de opções que torna possível derivar os mesmos resultados obtidos pelo modelo Black e Scholes usando apenas a matemática elementar. A ideia básica foi a mesma usada por Black e Scholes (1973), obedecendo a hipótese sobre a distribuição de probabilidade dos preços dos ativos subjacentes e certificando-se de que o apreçamento neutro ao risco é apropriado. Para determinar o preço de uma *call* é preciso: o preço de exercício, o preço do ativo subjacente, a amplitude do movimento dos preços do ativo e a taxa de juros, não sendo necessário conhecer a probabilidade dos preços caírem ou subirem.

Cox et al. (1979) assumem que o preço do ativo subjacente segue um processo binomial multiplicativo ao longo de sucessivos intervalos de tempo discretos. A taxa de retorno sobre o ativo em cada período pode ter dois valores possíveis: aumentado em u (*up*) vezes, ou diminuído em d (*down*) vezes. Assim, se o preço atual do ativo é S , o preço do ativo no final do período será, ou uS ou dS , com as seguintes probabilidades:

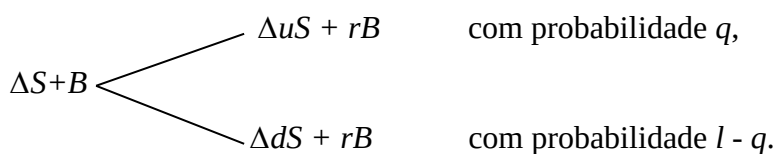


Dessa forma, denotando r como a taxa de juros livre de risco exige-se como condição $u > r > d$, que se satisfeita não permite possibilidade de realizar arbitragem sem risco.

Os autores começam com a construção da árvore binomial para precificar uma *call* cuja data de vencimento é no próximo período. Sendo C o valor atual da opção, C_u é o seu valor no final do período se o preço do ativo subjacente aumentar para uS , e C_d é o valor da opção de compra, caso o preço do ativo subjacente siga para dS . Conhecendo os termos do contrato da opção e considerando uma política de exercício racional, o valor da opção de compra (C) baseado no movimento do ativo subjacente (S) será:



É formada então uma carteira de *hedging* contendo uma quantidade Δ do ativo e um montante de dólares B em títulos sem risco. Isso irá custar $\Delta S + B$. Ao final do período, o valor da carteira será:



As quantidades Δ e B são escolhidas de forma a igualar os valores da carteira e da opção de compra no fim do período para cada possível resultado. Para que não haja nenhuma oportunidade de arbitragem sem risco o valor da *call*, C , não pode ser menor que o valor da carteira de *hedging*, $\Delta S + B$. Desse modo:

$$\Delta uS + rB = C_u$$

$$\Delta dS + rB = C_d$$

Resolvendo o sistema acima se obtêm as seguintes equações:

$$\Delta = \frac{C_u - C_d}{(u-d)S}; \quad B = \frac{C_u - \Delta uS}{r}$$

Dessa forma se não é possível realizar arbitragem sem risco, é verdade que:

$$\begin{aligned} C &= \Delta S + B \\ &= \frac{C_u - C_d}{u-d} + \frac{uC_d - dC_u}{(u-d)r} \\ &= \left[\left(\frac{r-d}{u-d} \right) C_u + \left(\frac{u-r}{u-d} \right) C_d \right] / r \end{aligned}$$

Devido à hipótese de que as ações não pagam dividendos, o valor da opção sempre será maior que $S - K$, desde que a taxa de juros seja positiva, que nesta análise é assumida sempre como maior que 1. Desse modo, se esse valor é maior do que $S - K$, e se C não for igual a $S - K$, a equação (acima) pode ser simplificada pela definição:

$$p \equiv \frac{r-d}{u-d} \text{ e } 1-p \equiv \frac{u-r}{u-d}$$

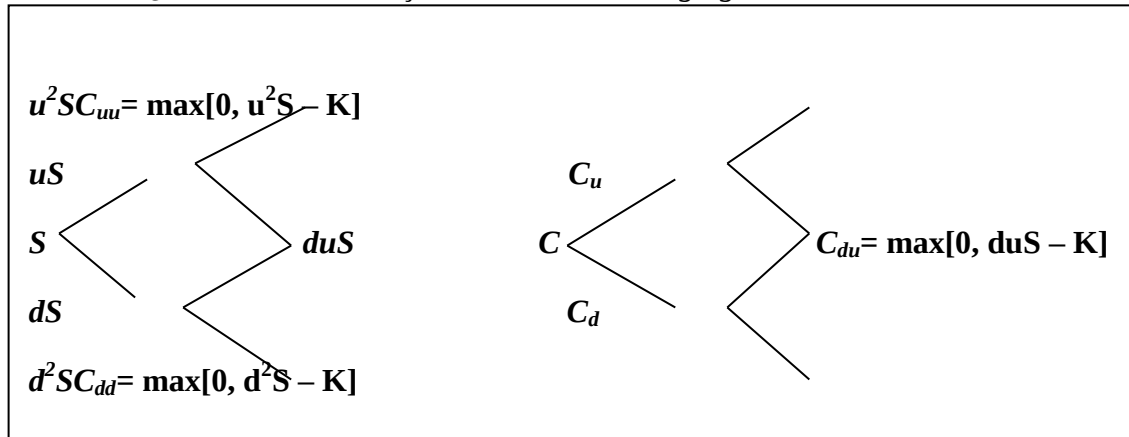
Então, o valor de uma opção de compra pelo modelo binomial é expresso por:

$$C = [pC_u + (1-p)C_d] / r$$

Cox et al. (1979) destacam três características relevantes desta fórmula. A primeira é o fato da probabilidade q não aparecer na fórmula, significando que, mesmo que os investidores tenham probabilidades subjetivas diferentes a cerca dos movimentos ascendentes ou descendentes no preço do ativo subjacente, eles ainda concordam com a relação de C para S , u , d , e r . Em segundo lugar, o valor da *call* não depende das atitudes dos investidores em relação ao risco. A mesma fórmula seria obtida com investidores avessos ou propensos ao risco. Em terceiro lugar, a única variável aleatória cujo valor da opção depende é o preço do ativo subjacente. Por fim, a probabilidade p é o valor que q assumiria se os investidores fossem neutros ao risco. Assim, o valor da opção de compra pode ser interpretado como a expectativa do valor futuro descontado em um mundo neutro de risco.

Estendendo a análise para um período maior em que a *call* possui dois períodos antes da data de vencimento, isso é representado pelo acréscimo de novos nós na árvore binomial com o ativo passando a ter três possíveis valores:

Quadro 03: Construção da carteira de *hedging* no modelo binomial.



Fonte: Cox, Ross e Rubinstein (1979).

em que,

uS , dS , udS , u^2S e d^2S são os valores que a ação pode assumir ao final de cada período; S , C e K são os valores do ativo-objeto, da opção de compra e do preço de exercício da opção, respectivamente; e,

C_u , C_d , C_{uu} , C_{du} e C_{dd} são os valores que a opção pode assumir ao final de cada período, por exemplo, C_{uu} representa o valor de uma *call* de dois períodos a partir da data atual se o preço do ativo de move de forma ascendente em cada um dos períodos.

Seguindo a análise anterior, na existência de dois períodos as fórmulas para o valor da *call* são:

$$C_u = [pC_{uu} + (1-p)C_{ud}] / r \quad \text{e} \quad C_d = [pC_{du} + (1-p)C_{dd}] / r \quad (4)$$

A carteira de hedge pode ser formada a partir do mesmo procedimento usado para um período, substituindo os novos valores de C_u e C_d para obter os novos valores de Δ e B . Como Δ e B terão a mesma forma funcional o valor da *call* em termos de C_u e C_d será $C = [pC_u + (1-p)C_d] / r$, fazendo a substituição nesta expressão a partir da equação (4) e com $C_{du} = C_{ud}$, o exato valor da opção é dado por:

$$C = [p^2 C_{uu} + 2p(1-p)C_{ud} + (1-p)^2 C_{dd}] / r^2$$

Essa equação pode ser generalizada de modo a se obter o cálculo para uma opção de compra com qualquer número de períodos. A fórmula de avaliação geral para n períodos pode ser escrita como:

$$C = \left[\sum_{j=0}^n \left(\frac{n!}{j!(n-j)!} \right) p^j (1-p)^{n-j} \max[0, u^j d^{n-j} S - K] \right] / r^n$$

Com um esforço adicional¹ essa equação pode ser escrita de uma forma mais prática:

$$C = S\Phi[a; n, p'] - Kr^{-n}\Phi[a; n, p]$$

Onde,

$$p \equiv (r - d)/(u - d) \quad p' \equiv (u/r)p$$

$a \equiv$ o menor número inteiro não negativo maior que $\log(K/Sd^n)/\log(u/d)$

se $a > n$, $C = 0$.

1B. Modelo Trinomial

O modelo trinomial surge como uma generalização para dois ativos subjacentes da abordagem *lattice* binomial desenvolvida por Cox, Ross e Rubinstein (1979) que considerava um único ativo na análise. A principal modificação proposta por Boyle (1988) foi a substituição do processo de dois saltos, apenas dois caminhos possíveis (aumento ou redução) no movimento dos preços dos ativos em cada período, por um processo trinomial (aumento, manutenção ou redução) a partir de cada ponto da árvore. Boyle (1988) acredita que esta abordagem pode ser usada para avaliar um grande número de instrumentos financeiros além das opções.

Boyle (1988) assume basicamente as mesmas premissas do modelo binomial, considerando que o retorno dos ativos segue uma distribuição *lognormal* em pequenos intervalos de tempo, h , sendo o retorno esperado igual à taxa de juros livre de risco e a variância da distribuição discreta igual à variância da distribuição *lognormal* correspondente.

É estabelecido ainda que o preço do ativo objeto tem três caminhos possíveis: aumentar para uS , com probabilidade p_1 ; se manter inalterado S , com probabilidade p_2 ; ou é reduzido dS , com probabilidade p_3 . Para a aproximação da distribuição lognormal são impostas três condições:

- (i) As probabilidades são positivas e sua soma igual a 1.
- (ii) A média da distribuição discreta, MS , é igual à distribuição lognormal, em um mundo neutro ao risco, isto é

$$SM = S \exp(rh)$$

- (iii) A variância da distribuição discreta, S^2V , é igual à variância da distribuição lognormal $S^2V = S^2M^2[\exp(\sigma^2) - 1]$.

As três condições acima são equivalentes a:

$$(1) p_1 + p_2 + p_3 = 1,$$

$$(2) p_1Su + p_2S + p_3\frac{S}{u} = SM$$

$$(3) p_1(S^2u^2 - S^2M^2) + p_2(S^2 - S^2M^2) + p_3\left(\frac{S^2}{u^2} - S^2M^2\right) = S^2V$$

Lee et al. (2010) salienta que apesar de haver três incógnitas nas três equações, é preciso apenas duas equações com p_1 , p_2 e p_3 sendo linearmente dependentes. A partir da equação (1) tem-se que $p_2 = 1 - p_1 - p_3$, substituindo nas equações (2) e (3), chega-se a:

$$p_1(u - 1) + p_3\left(\frac{1}{u} - 1\right) = M - 1 \quad (4)$$

$$p_1(u^2 - 1) + p_3\left(\frac{1}{u^2} - 1\right) = V + M^2 - 1 \quad (5)$$

Essas equações podem ser resolvidas fornecendo expressões explícitas para p_1 (probabilidade de aumentar) e p_2 (probabilidade de se manter) e p_3 (probabilidade de diminuir), como segue:

$$p_1 = \frac{(V + M^2 - M)u - (M - 1)}{(u - 1)(u^2 - 1)} \quad (6)$$

$$p_3 = \frac{u^2(V + M^2 - M) - u^3(M - 1)}{(u - 1)(u^2 - 1)} \quad (7)$$

$$p_2 = 1 - p_1 - p_3 \quad (8)$$

Lembrando a forma como o u foi definido no modelo CRR, Lee et al. traz que:

$$u = \exp[\sigma\sqrt{h}] \quad (9)$$

Boyle (1988) nota que usando esse valor de u , p_2 pode resultar em valores negativos para muitos parâmetros realistas. Para evitar esse erro, u é definido como:

$$u = \exp[\lambda\sigma\sqrt{h}] \quad (10)$$

onde, λ é maior do que 1 e é chamada de amplitude do salto.

Utilizando o mesmo procedimento do modelo binomial e replicando sua carteira de *hedging*, a fórmula para o cálculo de uma *call*, no modelo trinomial para n períodos, pode ser escrita como:

$$C_i = \max[e^{-r\Delta t}(p_1C_{1i} + p_2C_{2i} + p_3C_{3i}); K - S_i] \quad (11)$$

O principal problema a ser enfrentado por esse modelo, de acordo com Azevedo e Barbachan (2004), estava em obter, dentro dos padrões do CRR, as probabilidades (não negativas) e amplitudes dos saltos de preços para os dois ativos subjacentes. Esse problema de obtenção dos valores não negativos para as probabilidades neutras ao risco foi tratado posteriormente por Boyle, Evnine e Gibbs (1989), que construíram uma distribuição de probabilidade discreta para aproximar a distribuição de probabilidade *lognormal* multivariada, e para isto escolhem os tamanhos e probabilidades dos saltos de tal forma que a função característica das duas distribuições de probabilidade convirja. O modelo proposto, para problemas bidimensionais, utiliza uma *lattice* de quatro saltos.

ANEXO 1: Contrato Futuro de Boi Gordo com Liquidação Financeira - Especificações.

1. Definições

<u>Contrato:</u>	termos e regras específicos sob os quais os negócios serão realizados e liquidados.
<u>Day trade:</u>	compra e venda, no mesmo dia de negociação, do mesmo contrato, para o mesmo vencimento, realizada por um mesmo comitente, mediante o mesmo intermediador; ou um mesmo operador especial; e liquidada, total ou parcialmente, pelo mesmo membro de compensação.
<u>Hedgers:</u>	comitentes, que negociam o contrato, na qualidade de pecuaristas, frigoríficos, indústrias processadoras, comerciantes de carne, importadores, exportadores e fornecedores de insumos, máquinas e equipamentos.
<u>PTAX:</u>	taxa de câmbio de reais por dólar dos Estados Unidos da América, cotação de venda, divulgada pelo Banco Central do Brasil, por intermédio do sistema eletrônico Sisbacen, transação PTAX 800, opção “5”, cotação de fechamento, para liquidação em dois dias, a ser utilizada com, no máximo, sete casas decimais, relativa ao último dia do mês anterior ao da operação.
<u>Taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA:</u>	taxa de câmbio de reais por dólar dos Estados Unidos da América, apurada pela BM&FBOVESPA para liquidação em 1 (um) dia, conforme divulgado em seu endereço eletrônico.
<u>Dia útil:</u>	para efeitos do processo de liquidação, disposto nos itens 10, 11, 13.1 e 16.2, o dia de negociação na Bolsa em que não há feriado bancário na praça de Nova York, Estados Unidos da América.

2. Objeto de negociação

Bovinos machos, com 16 (dezesseis) arrobas líquidas ou mais de carcaça e idade máxima de 42 (quarenta e dois) meses.

3. Unidade de negociação

(trezentas e trinta) arrobas líquidas.

4. Cotação de preço

Preço do contrato é cotado em reais por arroba líquida, com duas casas decimais, excluída a Contribuição Especial da Seguridade Social Rural (CESSR) . Até 31 de dezembro de 2011, a cotação será determinada incluindo a Contribuição Especial da Seguridade Social Rural (CESSR).

5. Variação mínima de apregoação

R\$0,01 (um centavo de real) por arroba líquida.

6. Limite de oscilação diária

A Bolsa estabelece os limites de oscilação diária para o contrato, de acordo com o Regulamento de Operações de Negociação do Mercado de Derivativos da BM&FBOVESPA. Para o primeiro vencimento em aberto do contrato, o limite de oscilação diária será suspenso nos três últimos dias de negociação.

A Bolsa poderá alterar o limite de oscilação diária de qualquer vencimento a qualquer tempo, mesmo no decurso da sessão de negociação, mediante comunicado ao mercado com 30 (trinta) minutos de antecedência.

7. Meses de vencimento

Todos os meses.

8. Número de vencimentos em aberto

Conforme autorização da BM&FBOVESPA.

9. Data de vencimento e último dia de negociação

A data de vencimento e o último dia de negociação ocorrem no último dia útil do mês de vencimento.

10. Day trade

É admitida a negociação *day trade* de contratos. A liquidação financeira das operações day trade é realizada automaticamente no primeiro dia útil subsequente à data de fechamento dos negócios, sendo os valores apurados de acordo com o item 11(a).

11. Ajuste diário

As posições em aberto, ao final de cada sessão de negociação, serão ajustadas com base no preço de ajuste do dia de negociação. O ajuste diário das posições em aberto será realizado até o vencimento do contrato, de acordo com as seguintes fórmulas:

a) ajuste diário das posições realizadas no mesmo dia de negociação:

$$AD = (PA^t - PO) \times 330 \times n \quad (1)$$

b) ajuste diário das posições em aberto no dia anterior de negociação:

$$AD = (PA^t - PA^{t-1}) \times 330 \times n \quad (2)$$

onde:

AD = valor do ajuste diário;

PA^t = preço de ajuste do dia;

PO = preço do negócio;

n = número de contratos;

PA^{t-1} = preço de ajuste do dia de negociação anterior.

O valor do ajuste diário, calculado conforme demonstrado acima, se positivo, será creditado ao comitente-comprador e debitado ao comitente-vendedor. Caso o valor apurado apresente valor negativo, será debitado ao comitente-comprador e creditado ao comitente-vendedor. A liquidação financeira do ajuste diário é realizada no primeiro dia útil subsequente à data de fechamento do negócio.

12. Operações *ex-pit*

É permitida a realização de operações *ex-pit* até o último dia de negociação, nos termos do Regulamento de Operações.

13. Liquidação

13.1. Liquidação por índice de preços

As posições, que não forem encerradas até o último dia de negociação, serão liquidadas financeiramente pela Bolsa, na data do vencimento, por meio do registro de contratos de mesma quantidade e condição oposta à da posição, pelo preço calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$PO_i = \frac{\sum_{t=d-4}^d IBOIGORDO_t}{5}$$

onde:

PO_i = preço da operação relativa à liquidação da posição por índice de preços, expresso em reais por arroba líquida;

$IBOIGORDO_t$ = Indicador de Preço Disponível do Boi Gordo BM&FBOVESPA, expresso em reais por arroba líquida, apurado por instituição renomada em coleta de preços, definida em Ofício Circular, e divulgado no endereço eletrônico da Bolsa;

$d - 4$ = quarto dia útil anterior ao último dia de negociação;

d = data de vencimento do contrato e último dia de negociação.

Os valores relativos à liquidação da posição por índice de preços serão liquidados financeiramente no primeiro dia de negociação subsequente à sessão de negociação do último dia de negociação, observado, no que couber, o disposto no item 14.

13.2. Arbitramento do preço de liquidação por índice de preços

O preço da operação detalhada no item 13.1 poderá ser arbitrado a critério da Bolsa.

14. Forma de pagamento e recebimento dos valores relativos à liquidação financeira e à conversão dos valores de margem de garantia e dos custos operacionais.

A liquidação financeira das operações *day trade*, dos ajustes diários, bem como a conversão da margem de garantia e dos custos operacionais, é realizada conforme determinado a seguir.

14.1. Comitentes residentes no Brasil

A liquidação é realizada em reais, de acordo com os procedimentos estabelecidos pela Câmara de Registro, Compensação e Liquidação de Operações de Derivativos da BM&FBOVESPA.

14.2. Comitentes não residentes no Brasil

A liquidação é realizada em dólares dos Estados Unidos da América, na praça de Nova York, Estados Unidos da América, por meio de instituições liquidantes autorizadas pela Bolsa.

A conversão monetária dos valores financeiros é realizada pela taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA ou pela PTAX, relativa à data específica, conforme a natureza do valor a ser liquidado:

- a) Na liquidação de operações *day trade*: utiliza-se a taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA da data de registro do negócio;
- b) Na liquidação de ajuste diário: utiliza-se a taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA da data a que o ajuste diário se refere;
- c) Na conversão da margem de garantia, utiliza-se a taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA da data de registro do negócio; ou
- d) Na conversão dos custos operacionais: utiliza-se, quando for o caso, a PTAX.

15. Garantias

15.1. Margem de garantia

É exigida margem de garantia de comitentes com posição em aberto, a qual é atualizada diariamente, de acordo com o Regulamento da Câmara de Registro, Compensação e Liquidação de Operações de Derivativos da BM&FBOVESPA.

15.2. Ativos aceitos como garantia

Aqueles aceitos pela Bolsa nos termos do Regulamento e Manual de Procedimentos da Câmara de Registro, Compensação e Liquidação de Operações de Derivativos da BM&FBOVESPA.

16. Custos operacionais

16.1. Emolumentos e taxas

16.2. São devidos os emolumentos e taxas estabelecidos pela Bolsa.

16.3. Datas de pagamento

Exceto de outra forma estabelecida pela Bolsa, os emolumentos e taxas são devidos no primeiro dia útil seguinte à data do registro do negócio.

17. Normas complementares

Fazem parte integrante deste Contrato, no que couber, a legislação em vigor, as normas e os procedimentos da Bolsa, definidos em seus Estatuto Social, Regulamentos, Manuais, Ofícios Circulares e Comunicados Externos, observadas, adicionalmente, as regras específicas das autoridades governamentais que possam afetar os termos nele contidos.