

MAYARA GIACON PEGORARO

GERENCIAMENTO DE RISCO ATRAVÉS DE OPÇÕES NO MERCADO AGRÍCOLA
DO MILHO

Monografia apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para a obtenção do título de
MBA em Engenharia Financeira

Área de Concentração: Finanças

Orientador Prof: Ph.D. Rodrigo de Barros Nabholz

São Paulo

2016

MBA/EF
2016
P3499



Escola Politécnica - EPEL



31500015290

Catálogo-na-publicação

m 2016 m

Pegoraro, Mayara Giacon

GERENCIAMENTO DE RISCO ATRAVÉS DE OPÇÕES NO MERCADO
AGRÍCOLA DO MILHO / M. G. Pegoraro -- São Paulo, 2016.

74 p.

Monografia (MBA em Engenharia Financeira) - Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo. PECE -- Programa de Educação Continuada em
Engenharia.

1.derivativos 2.hedging 3.agronegócio 4.opções 5.milho I.Universidade de
São Paulo. Escola Politécnica. PECE -- Programa de Educação Continuada em
Engenharia II.t.

[2829101]

Eu dedico esse trabalho primeiramente a Deus, a minha família e todos aqueles que de alguma forma contribuíram para minha formação, seja ela como pessoa ou como profissional.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Rodrigo de Barros Nabholz, pela orientação e ajuda ao longo do trabalho.

Aos meus colegas de sala, os quais tive o prazer de dividir experiências durante os dois anos de curso.

Ao meu futuro marido, Sergio de Melo Beck e todos que de alguma forma colaboraram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

RESUMO

O gerenciamento de riscos é cada vez mais empregado nos mais diversos setores para garantia dos resultados: o agronegócio é um deles. Riscos inerentes a esse tipo de mercado como variações bioclimáticas, pragas, fatores políticos e econômicos podem afetar o preço da mercadoria. Sendo o milho um dos produtos agrícolas mais negociados no Brasil, os agentes atuantes precisam se proteger contra as variações intrínsecas ao mercado. Para minimizar as intempéries do negócio é importante que algum tipo de proteção (hedging) seja feito e, atualmente o mercado de derivativos tem ganhado grande destaque. As opções podem garantir o hedging por meio de contratos de compra (call) ou venda (put) e trazer um fluxo de caixa positivo para o empresário. O presente trabalho, portanto, pretende apresentar os derivativos como forma de gestão de risco de preço para os agentes envolvidos na cadeia do milho e calcular exemplos reais baseados no modelo de precificação de opções de Black & Scholes para propor as melhores formas dos agentes-econômicos se assegurarem contra as variações de preço.

Palavras chave: hedging, derivativos, agronegócio, milho, opções, Black & Scholes

ABSTRACT

The risk management is being often used to assure the results in many sectors: the agribusiness is one of them. Risks inherent to this market as bioclimatic variations, plagues, political and economic factors may affect the prices. The corn as one of the most traded commodities in Brazil, the active agents need to be protected against the market distinctive variations. To minimize the business misfortunes is important to have some kind of protection (hedging) and nowadays the derivative market has become bigger. The options can guarantee the hedging through buying (call) and selling (put) contracts and result a positive cash flow to the entrepreneur. The present work aims to show derivatives as a price risk management to the corn stakeholders and calculate real examples based on option pricing with Black & Scholes model to suggest the best ways to be secure against prices fluctuations.

Key words: hedging, derivatives, agribusiness, corn, options, Black & Scholes

Definições:

- **Opções:** são contratos financeiros em que são negociados direitos e obrigações sobre o ativo-objeto, por determinado preço até uma data específica.
- **Ativo-objeto:** é o ativo que se está negociando: ações, ouro, taxa de juro, imóveis, moedas, produtos agropecuários, energia etc.
- **Titular:** é o detentor da opção, comprador, aquele que possui o direito de exercício.
- **Lançador:** é o vendedor da opção, portanto, é aquele que possui obrigações perante o titular.
- **Opção de compra (call):** opção que fornece a seu titular o direito de comprar o ativo-objeto e, conseqüentemente, ao lançador a obrigação de vender o ativo-objeto ao titular.
- **Opção de venda (put):** opção que fornece o direito ao titular de vender o ativo-objeto e ao lançador da opção, a obrigação de comprar o ativo-objeto.
- **Prêmio:** é o valor da opção que é negociado entre as partes no pregão de viva voz, sistema eletrônico ou em mercado de balcão. É o valor pago pelo titular para ter um direito e o valor recebido pelo vendedor. Este terá, portanto, uma obrigação com o titular.
- **Preço de exercício:** preço pelo qual o titular poderá exercer o direito de comprar o ativo-objeto se for opção de compra ou vender o ativo-objeto, se for opção de venda.
- **Prêmio da opção:** representa a probabilidade da ocorrência do exercício; quanto maior for essa probabilidade, maior será o valor do prêmio.

- **Data de exercício:** último dia no qual a opção poderá ser exercida.
- **Comprador de uma opção de compra:** é o titular que tem o direito de comprar o ativo-objeto por um preço de exercício até ou na data de exercício.
- **Vendedor de uma opção de compra:** é o lançador; possui a obrigação de vender o ativo-objeto por um preço de exercício até ou na data de exercício.
- **Comprador de uma opção de venda:** é o titular que tem o direito de vender o ativo-objeto por um preço de exercício até ou na data de exercício.
- **Vendedor de uma opção de venda:** é o lançador; possui a obrigação de vender o ativo-objeto por um preço de exercício até ou na data de exercício.

Lista de Figuras

Figura 1 - Calendário agrícola do milho no Brasil	4
Figura 2 - Produção nacional do milho	5
Figura 3 - Produção de milho por estado 1ª e 2ª safra – 2015/2016	6
Figura 4 - Evolução da área plantada com milho	7
Figura 5 - Consumo de milho por segmento 2015/2016.....	8
Figura 6 - Share das exportações mundiais – últimas 10 safras	9
Figura 7 - Volume de embarques de milho para exportação do Brasil, em mil toneladas.....	10
Figura 8 - Evolução do preço do milho	11
Figura 9 - Preços internacionais de milho (CBOT) 2000 – 2017	12
Figura 10 - Preço de uma opção e ação em um passo da árvore generalizada.....	27
Figura 11 - Myron S. Scholes recebendo o prêmio Nobel de economia.....	29
Figura 12 - Função probabilidade acumulada de uma distribuição normal	33
Figura 13 - Fluxograma do programa	35
Figura 14 - Prêmio com desvio padrão constante	36
Figura 15 - Prêmio com desvio padrão móvel	37
Figura 16 - Prêmio com EWMA	38
Figura 17 - Prêmio com GARCH	38
Figura 18 – Comparativo entre os diferentes métodos de volatilidade	39
Figura 19 - Compra de uma opção call	41
Figura 20 - Venda de uma opção call	41
Figura 21 - Compra de uma opção put.....	42
Figura 22 - Venda de uma opção put	43

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 CENÁRIO GERAL BRASILEIRO DO MERCADO DE MILHO	4
1.1 GESTÃO DE RISCOS	13
1.2 DERIVATIVOS	14
1.2.1 Contrato-derivativos	15
1.2.1.1 Mercado a Termo	16
1.2.1.2 Mercado Futuro	16
1.2.1.3 Swaps	17
1.2.1.4 Mercado de opções	18
1.2.1.4.1 Opções agropecuárias	20
1.2.2 Bolsa de valores e Mercado de balcão	21
1.2.2.1 Mercado de Balcão	21
1.2.2.2 Bolsa de Valores	22
1.2.3 Estratégias de negociação no mercado de derivativos	23
1.2.3.1 Hedging	23
1.2.3.2 Especulação	24
1.2.3.3 Arbitragem	24
CAPÍTULO 2 PRECIFICAÇÃO DE OPÇÕES	26
2.1 MODELO BINOMIAL	26
2.2 MODELO DE BLACK & SCHOLES	28
2.2.1 Propriedade lognormal dos preços	29
2.2.2 Volatilidade	30
2.2.2.1 Desvio padrão e variância	30
2.2.2.2 EWMA	31

2.2.2.3 GARCH.....	32
2.2.3 Fórmulas de Black & Scholes	33
CAPÍTULO 3 METODOLOGIA E DISCUSSÃO	34
3.1 PROGRAMA.....	34
3.2 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS.....	35
3.2.1 Análise da Volatilidade.....	36
3.3 ANÁLISES DE COMPRA E VENDA DE OPÇÕES.....	40
3.3.1 Compra de Call.....	40
3.3.2 Venda de Call	41
3.3.3 Compra de Put.....	42
3.3.4 Venda de Put.....	43
CONCLUSÃO.....	45
BIBLIOGRAFIA	47
ANEXO I – CONTRATO DE OPÇÃO DE COMPRA SOBRE MILHO	51
ANEXO II – CONTRATO DE OPÇÃO DE VENDA SOBRE MILHO	54
ANEXO III – PROGRAMA EM MATLAB	57

INTRODUÇÃO

Todas as negociações, independente da sua ordem de grandeza, estão sujeitas aos riscos, e no agronegócio não é diferente. O preço de venda no exercício da comercialização, ou seja, na troca de mercadoria e fluxo monetário, é uma incógnita que possuem muitas variáveis e de maneira geral, nem sempre são administráveis pelo empresário.

A atual conjuntura econômica do país, as taxas de juros de financiamentos, taxas de câmbio, oferta e demanda tanto no mercado interno quanto no mercado externo e outros numerosos fatores intrínsecos a especificidade de cada produto demandam ainda mais atenção dos agentes do mercado (SCHOUCHANA E MICELI, 2004).

Além dos riscos gerais, riscos como variações não antecipadas na produtividade e renda, em função de fatores climáticos e/ou biológicos, riscos de variações não antecipadas de preços (mercado), riscos associados a ferimentos e problemas de saúde do trabalhador rural, acidentes, pragas, contaminação, etc. são preocupações constantes dos agentes envolvidos no mercado agropecuário (SEPULCRI, 2006).

O mercado de derivativos é uma forma bastante usual de controlar o risco em detrimento da variação de preços. Através dos contratos futuros e de opções esses produtores conseguem travar o preço pelo qual venderão seu produto, garantindo assim que esse seja suficiente para cobrir seus custos e ainda garantir uma margem de lucro (CALEGARI, BAIGORRI, FREIRE, 2012).

Levando em conta que no ano de 2015, o agronegócio brasileiro correspondeu por uma fatia de 23% do PIB do país, de acordo com dados da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), pode-se compreender a importância do setor para a economia brasileira.

O milho é um dos segmentos econômicos mais importantes do agronegócio brasileiro, responsável por cerca de 37% da produção nacional, com destino na sua grande totalidade para avicultura e suinocultura e um faturamento de proximadamente US\$5 bilhões em 2015. Sendo assim, o presente trabalho tomou como base esse grão para desenvolvimento das análises e possíveis estratégias de negociação através dos mercados de derivativos no controle de risco das operações envolvendo os empresários do ramo.

O capítulo 1 apresenta um overview sobre o mercado do milho, características específicas a esse grão: divisão das safras entre verão e safrinha e melhor período de plantio e colheita. Além disso, é exposto em números o tamanho da movimentação desse produto tanto no negócio nacional quanto internacional. Em seguida é apresentado um histórico da movimentação de preços que ocorreu nesse setor nos últimos 10 anos, evidenciando a importância do hedging para esse mercado. Por fim, é introduzido o conceito de gestão de riscos e mercado de derivativos, ampliando o conhecimento sobre o tema de opções de forma a mostrar suas estratégias de negociação.

O mercado de opções é aprofundado no capítulo seguinte. Black & Scholes ganha destaque por ser uma grande revolução na forma de precificar as opções. O método procura calcular o prêmio da opção através de variáveis mensuráveis como prazo de vencimento, valor de exercício, volatilidade e preço corrente do ativo-objeto. A volatilidade apresenta um diferencial em comparação às demais variáveis, pois pode ser calculada de diferentes maneiras. No capítulo 2 será apresentado três métodos de cálculo de volatilidade: desvio padrão, EWMA e GARCH.

O terceiro, e último capítulo, busca avaliar alternativas de proteção com call e put envolvendo os agentes do mercado agrícola do milho: produtores e outros agentes específicos desse negócio. Todo o raciocínio foi desenvolvido através do programa MATLAB. Os cálculos e resultados obtidos são por fim, apresentados.

Fica claro, o importante papel do mercado derivativo para proteção dos agentes do agronegócio. Portanto, o objetivo desse estudo não é impor uma única forma de avaliar as estratégias de negociação através das opções, mas sim mostrar

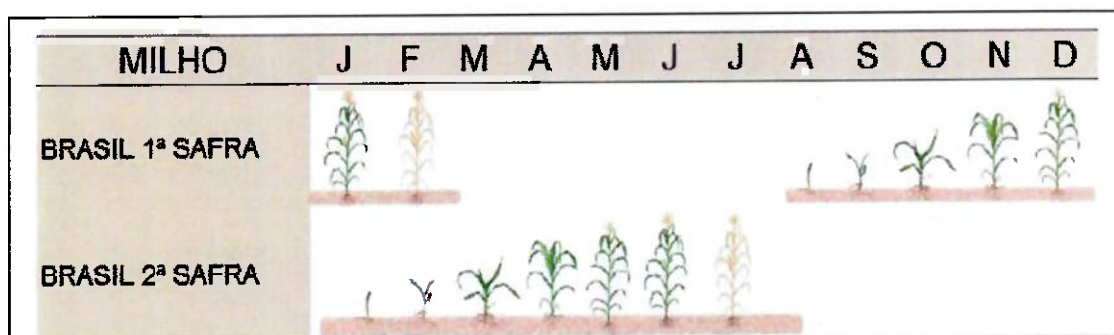
algumas possibilidades reais de minimizar as intempéries que o mercado dos negócios agrícolas está sujeito a enfrentar.

CAPÍTULO 1 CENÁRIO GERAL BRASILEIRO DO MERCADO DE MILHO

O milho representa uma grande fatia da produção agrícola do país. Atualmente se consolida como a segunda cultura mais importante para a agricultura brasileira e o Brasil se destaca como o terceiro maior produtor mundial desse grão, ficando atrás apenas dos Estados Unidos e da China.

A semeadura do milho ocorre em duas safras. Sendo que a primeira concorre com a soja no Sul e Sudeste do Brasil. A semeadura ocorre entre setembro e dezembro e a colheita, durante janeiro e maio. Por outro lado, o milho de segunda safra, também conhecido como milho “safrinha” é produzido principalmente na região Centro-Oeste e no Estado do Paraná. A semeadura desse milho costuma ocorrer durante os meses de janeiro a março, e a colheita, nos meses de maio a agosto (IMEA, 2015). Na Figura 1, pode-se notar as fases entre semeadura e colheita tanto para a primeira safra quanto para a segunda safra de maneira esquemática para uma melhor compreensão dos períodos chave para produção do milho.

Figura 1 - Calendário agrícola do milho no Brasil



Fonte: IMEA, 2015

Nota: Modificado

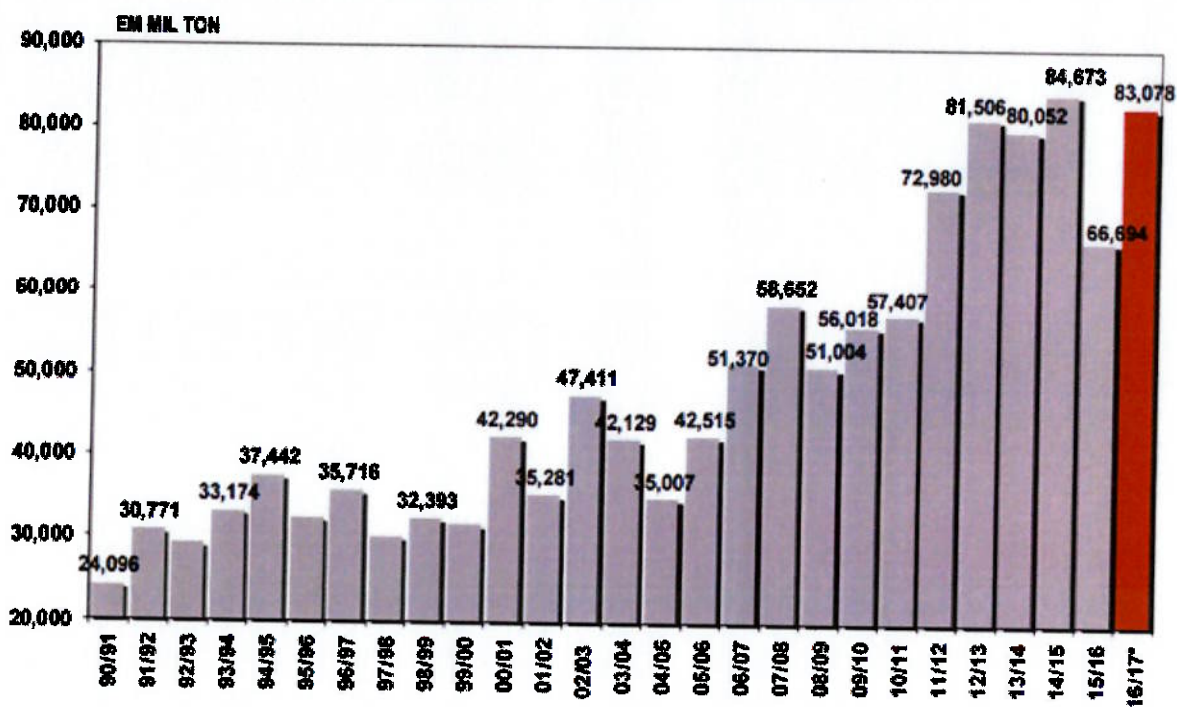
Isso ocorre devido a suas características fisiológicas que necessitam estar em condições ambientais favoráveis para seu melhor desempenho e resultado nas safras. De maneira geral, fatores climáticos como temperatura, precipitação

pluviométrica e fotoperíodo precisam atingir o chamado ponto ótimo para que o potencial genético de produção se desenvolva ao máximo (ALBUQUERQUE FILHO et al., 2010).

Graças a investimentos em tecnologia, centros de pesquisas e modernos laboratórios, o Brasil pode ver um aumento de produtividade no campo cada vez mais consistente e mais rentável.

A produção brasileira esteve em constante ascensão na última década, exceção para safra 15/16. No período compreendido entre a safra 2004/05 e 2014/15, o crescimento foi de mais de 100%, sendo que a safrinha foi responsável por 54.591 dos 84.673 produzidos no período. É possível analisar a evolução da produção de milho na figura abaixo:

Figura 2 - Produção nacional do milho



Fonte: Bradesco (2016)

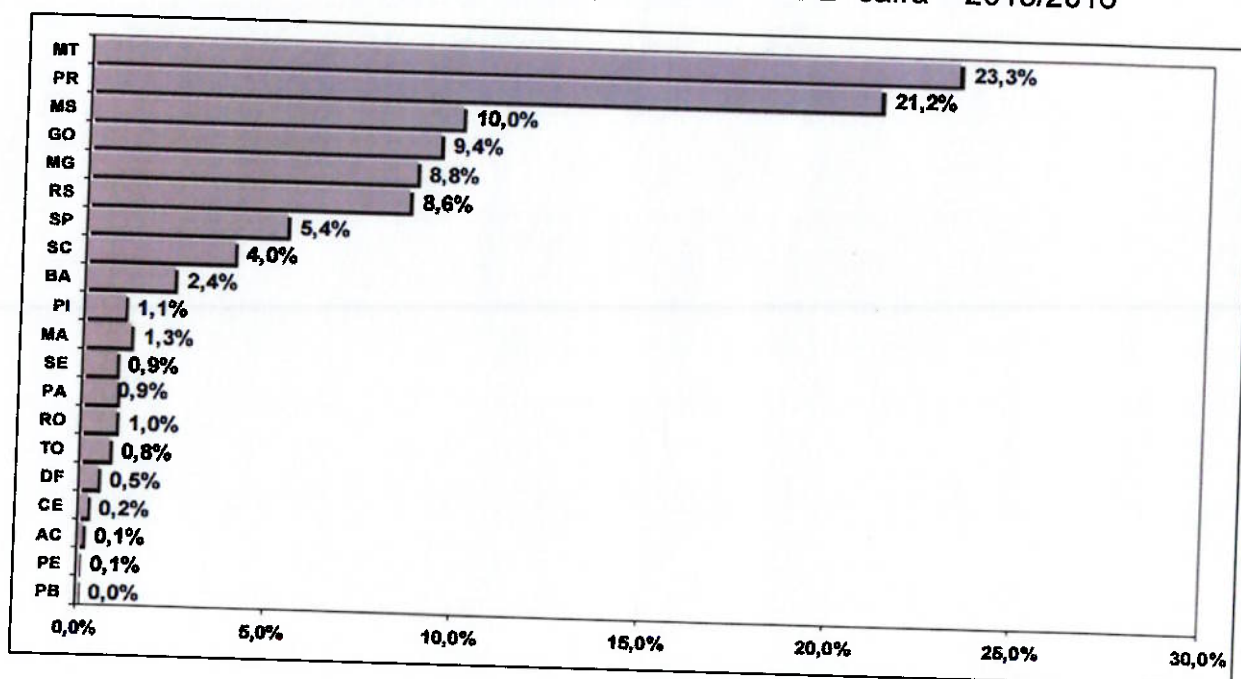
Nota: * projeção da safra 16/17

O cultivo desse grão é bem dividido entre os estados brasileiros, porém a maior concentração está nas regiões Sul, Centro-Oeste e Sudeste, uma vez que os estados do Mato Grosso e Paraná correspondem por aproximadamente 40% dessa

produção. Vale destacar que o aumento da produção no Mato Grosso chegou a um crescimento de 400% entre 2004 e 2014 (FREITAS; MIRANDA; GARCIA, 2015).

A figura 3 mostra a produção do milho por estado na primeira e segunda safra de 2015/2016:

Figura 3 - Produção de milho por estado 1ª e 2ª safra – 2015/2016



Fonte: Bradesco (2016)

Nota-se que a produção de milho por região na 1ª e 2ª safra está na sua grande totalidade representada pela região Centro Oeste que sozinha produz quase metade do total de produção do país. Em seguida a região Sul representa 34% e as demais regiões, Sudeste, Nordeste e Norte, juntas somam 23%.

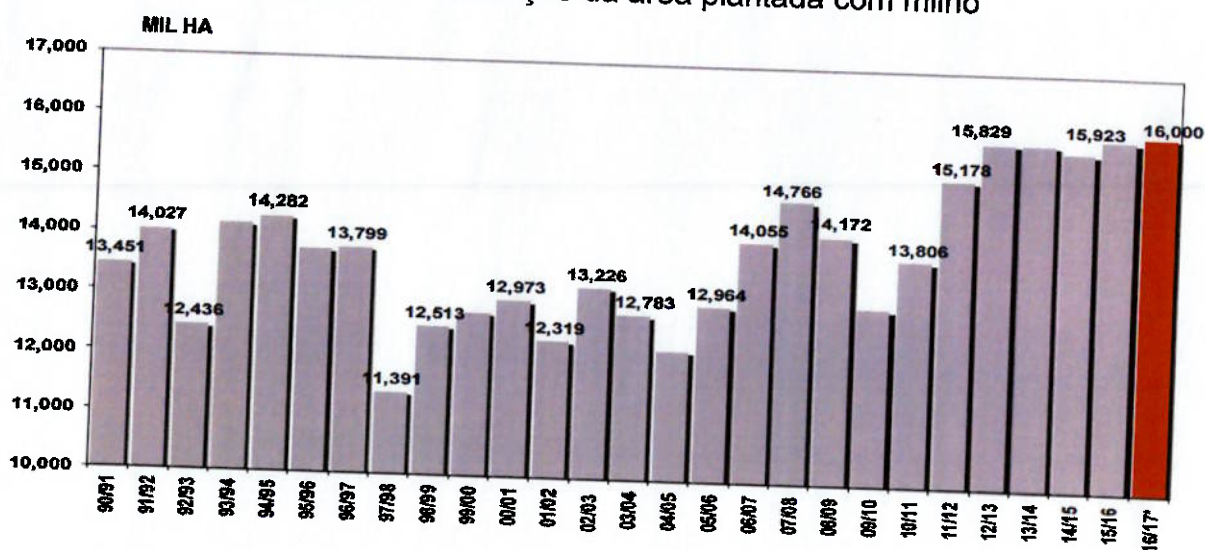
O grande destaque para o impulso da produção de milho no Brasil também se deve a uma posição mais competitiva do país latino americano em decorrência de fatores microeconômicos, como a maior rentabilidade, aumento do preço recebido pelo produtor, e de fatores macroeconômicos, como a eliminação de tarifas de produtos importados (CALDARELLI; BACCHI, 2012).

Segundo FAVRO; CALDARELLI; CAMARA (2015) a evolução da produção e da produtividade do milho no Brasil nas últimas safras também está associada à

maior inserção do produto no mercado externo e na intensificação da produção do milho safrinha na região Centro-Oeste.

Em termos de área plantada, segundo dados da Conab, os últimos 3 anos giram perto dos 15 mil ha (Figura 4) e a expectativa para a próxima safra é de manutenção, fomentando a importância e fortalecimento da participação do Brasil cada vez mais na produção do grão.

Figura 4 - Evolução da área plantada com milho

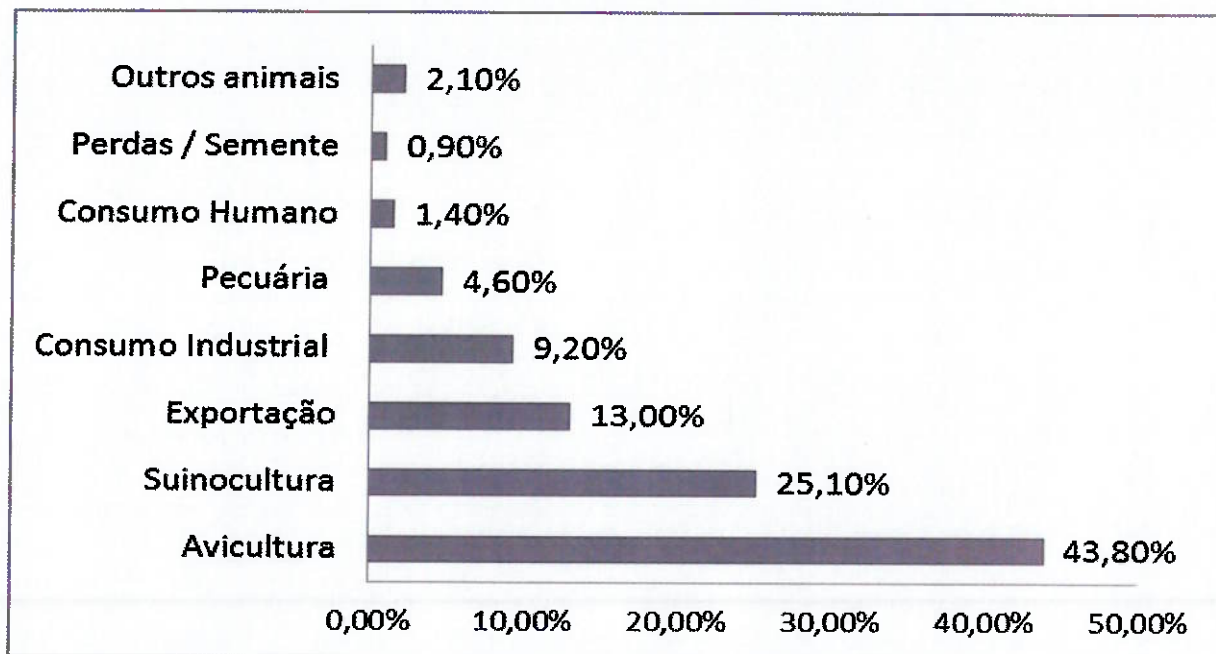


Fonte: Bradesco (2016)

Nota: * projeção da safra 16/17

A comercialização do sistema agroindustrial do milho constitui o processo complexo de ligação entre a produção e o consumo, a análise do inter-relacionamento dos segmentos intermediários a esse processo se torna fundamental para o entendimento do mercado. Entre as características desse sistema a serem destacadas, estão sua abrangência, no que diz respeito a produtos finais, e sua interação com os demais sistemas agroindustriais como insumo. Sob uma perspectiva, o milho é empregado como matéria-prima em diversos produtos finais, em mercados distintos como alimentação humana e farmacêutico. Por outra ótica a grande parcela da produção do milho toma a forma de insumo em diversos outros sistemas agroindustriais, principalmente voltados à produção animal, já que o milho é praticamente a base das rações para todos os tipos de criação (SOUZA; AZEVEDO; SAES, 1998).

Figura 5 - Consumo de milho por segmento 2015/2016

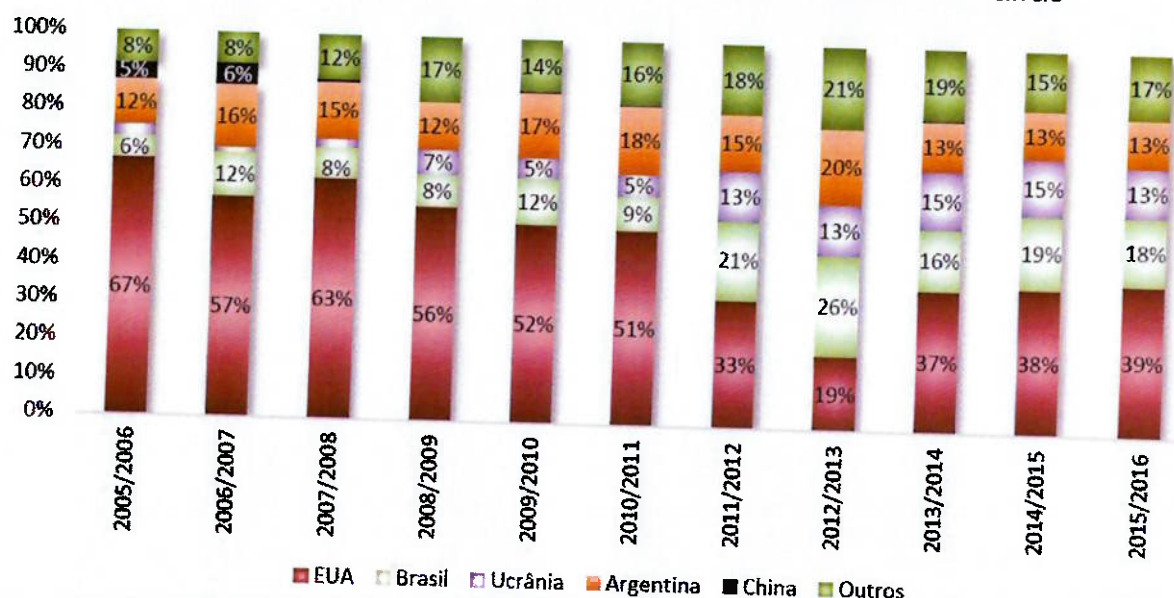


Fonte: Bradesco (2016)

Quando se analisa o destino da produção de milho do país (Figura 5), é notório que grande parte da demanda está concentrada no consumo animal. Avicultura e suinocultura representam quase 70% de todo destino do consumo. O consumo humano representa uma porção muito pequena com apenas 1,4% do total.

“No que tange à comercialização do milho brasileiro com o mercado externo, podemos observar que o Brasil é um dos principais *players* no mercado de exportação, posicionando-se apenas atrás dos Estados Unidos, quando o assunto é a exportação do cereal” (IMEA, 2015). A figura 6 mostra o share das exportações mundiais nas últimas 10 safras.

Figura 6 - Share das exportações mundiais – últimas 10 safras



Fonte: IMEA (2015)

Como pode ser visto acima, o Brasil se destaca entre os grandes exportadores mundiais aumentando seu share em 200% desde a safra 2005/2006. Por outro lado, os Estados Unidos vem reduzindo sua participação de maneira expressiva.

Atualmente, o grão está entre as principais commodities na pauta de exportação brasileira, o que contribui para que os estados que possuem maior produção possam se beneficiar com as vantagens da comercialização para o mercado externo. A produção de milho pode ser considerada como uma alternativa de cultivo para o produto; por isso, é importante ter um mercado eficiente, com preços que sirvam de incentivo para o aumento da produção (FAVRO; CALDARELLI; CAMARA, 2015).

Figura 7 - Volume de embarques de milho para exportação do Brasil, em mil toneladas



Fonte: Bradesco (2016)

Nota: * projeção da safra 16/17

O gráfico acima mensura a evolução da participação do milho brasileiro no comércio internacional. Na última década o mercado de exportação do milho nacional cresceu vertiginosamente.

De acordo com a Sociedade Nacional de Agricultura (SNA) o Brasil é o segundo maior exportador do grão, sendo que no ano de 2015 exportou mais de 30 milhões de toneladas. Em 2015 o país teve seu faturamento impulsionado, chegando a US\$ 4.9 bilhões e já no primeiro semestre de 2016 esse número chega a US\$ 2 bilhões, superando em 100% o resultado do mesmo período do ano anterior. Números estes, maiores do que as exportações de carne bovina e automóveis.

Existem alguns fatores de riscos, entretanto, que são extremamente relevantes e impactam diretamente o preço e consequentemente a comercialização do milho: risco climático; incidência de pragas e doenças; setor exportador – dependente do comportamento do câmbio; commodity sujeita ao comportamento das cotações internacionais, risco elevado em períodos de alta volatilidade dos preços nos mercados futuros, o que pode levar a perdas com ajuste de margem; custos de produção cotados em dólar e dependentes da matéria-prima petroquímica (fertilizantes e defensivos agrícolas) (BRADESCO, 2016).

Ao analisar o preço da commodity do milho ao longo dos anos no mercado brasileiro, observa-se que existe uma tendência de aumento no preço da commodity desde os anos 2000, embora com grande variação no preço tanto positiva quanto negativamente, por diversos fatores, sendo eles: econômicos, políticos e ambientais.

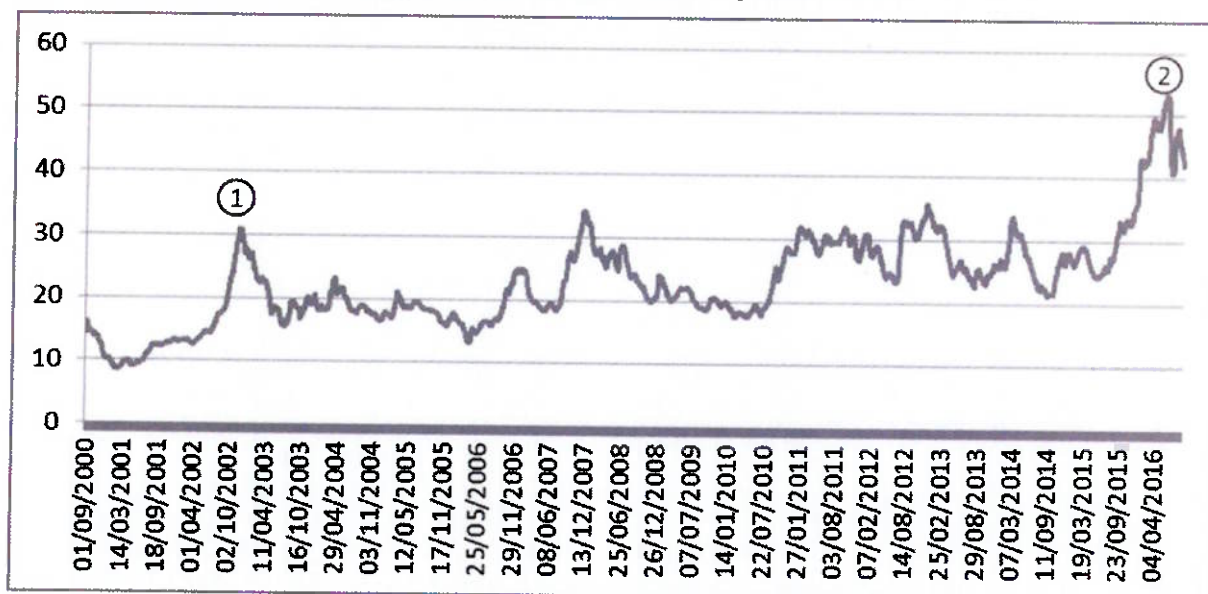
Em 2002, por exemplo, de acordo com o CEPEA o mercado do milho foi marcado por três principais fatores que resultaram no aumento expressivo do preço da commodity como pode ser visto no ponto 1 da Figura 8.

Os principais fatores foram: a redução na produção nacional, a desvalorização cambial e a recuperação dos preços do milho no mercado externo. Essas razões foram cruciais para manter os valores bastante elevados durante o ano de 2002, superiores a média histórica.

Seguindo com a análise, é visível uma grande queda no preço da commodity. Isso ocorreu devido aos avanços da colheita de milho no Brasil que reduziu o preço do grão em todo o país, mas com intensidade variável de acordo com a região.

Já em 2015, ponto 2, houve um novo aumento do valor devido a incerteza atrelada as condições climáticas e desvalorização do real que aumentaram as exportações.

Figura 8 - Evolução do preço do milho

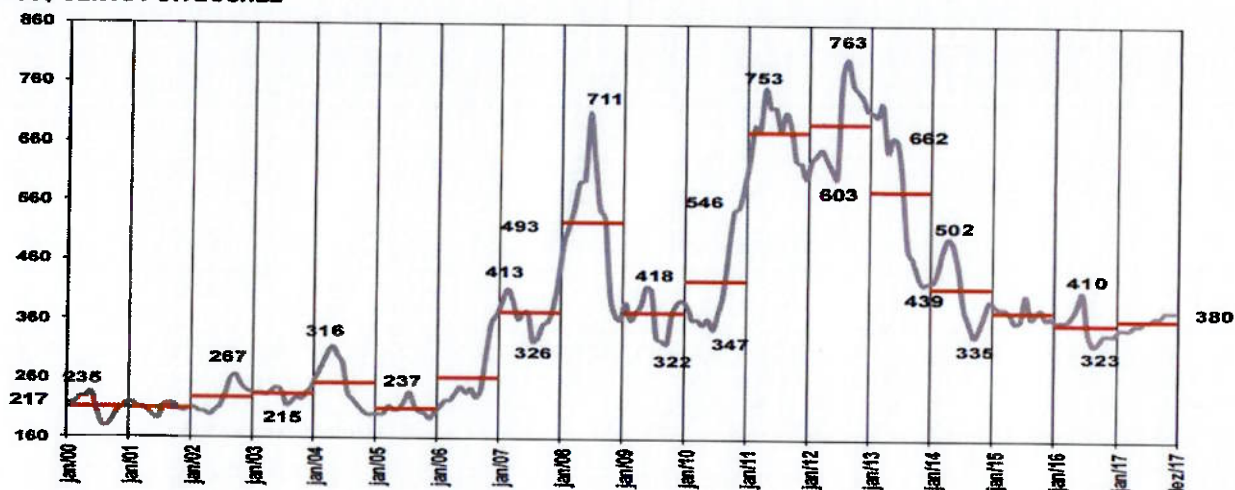


Fonte: CEPEA

NOTA: Elaboração própria

Figura 9 - Preços internacionais de milho (CBOT) 2000 – 2017

EM US\$ CENTS POR BUSHEL



Fonte: Bradesco (2016)

Nota: Projeção de preço: média dos preços futuros

No mercado internacional, o indicativo dos preços desse grão, na bolsa de Chicago (referência para os preços do mundo), mostra um aumento significativo dos preços a partir de 2007, devido a fatores como crescimento econômico dos países emergentes e taxa de câmbio favorável, além do aumento da demanda por etanol de milho nos EUA (USDA, 2008).

Diante de mudanças macroeconômicas tão inesperadas, tanto no comércio nacional quanto no internacional, os riscos podem não estar tão explícitos, mas eles existem. Os agentes envolvidos (produtores e consumidores) na cadeia de produção do milho se conflitam em detrimento dessas oscilações de preço, já que em um mercado competitivo nem todos ganham.

Para Schouchana e Miceli (2004), o risco de preço decorre das oscilações dos preços das mercadorias e, dependendo dessas variações, o produtor pode não cobrir seus custos e, conseqüentemente, não poderá honrar seus compromissos com clientes e bancos. O comprador, pelo seu lado, diante de uma alta no preço do insumo, pode perder a rentabilidade de sua atividade. Para se proteger contra esse tipo de risco, existem os mercados futuros e de opções. Essa proteção ou cobertura nos mercados futuros e de opções é chamada de hedge.

Os mercados futuros e de opções devem ser entendidos, portanto, como poderosa ferramenta na gestão de risco de preço das mercadorias. De maneira integrada ao mercado físico, fazem parte de um processo que busca associar produção, processamento, comercialização, consumo e financiamento (SCHOUCHANA E MICELI, 2004). Esse tema será mais profundamente discutido nas próximas páginas.

1.1 GESTÃO DE RISCOS

A comercialização de produtos agrícolas tem como uma de suas principais características a grande incerteza com relação aos preços praticados no mercado. Isso se deve a grandes variações bioclimáticas a que está sujeita a atividade, bem como as variações de preço, fatores políticos e econômicos os quais os produtores e demais participantes da cadeia de comercialização do agronegócio estão expostos. Além disso, existe o fator sazonal da produção, que se dá quando ocorre a colheita da safra, momento esse em que a comercialização se intensifica.

Assim sendo, é cada vez mais frequente que os participantes do mercado agropecuário, como produtores rurais e empresas processadoras de produtos agrícolas procurem mecanismos para se proteger dessa instabilidade de preços, tanto na época da safra, quando os preços diminuem, quanto no momento da entressafra, onde os preços tendem a aumentar, já que todos têm a ganhar com uma comercialização economicamente eficiente e sem sobressaltos (SONAGLIO; SILVA, 2010).

Além de riscos específicos para cada tipo de commodity, existem também os riscos gerais de mercado. Toledo Filho, Cardoso e Santos (2010) apontam alguns riscos comuns ao mercado de derivativos como: risco de mercado, risco da taxa de juros, risco de liquidez e risco de crédito. Cada um desses riscos será melhor detalhado a seguir.

- a) Risco de mercado: é o mais fácil de ser entendido, relacionado com o preço e valor dos bens, serviços, índices, commodities, etc. Está relacionado com o comportamento do preço de um derivativo no dia-a-dia. Segundo o autor para avaliar esse risco a chave é compreender o

comportamento do mercado e sua interação com o ambiente, analisar as mudanças, identificar os componentes do mercado e como eles se interagem. No caso de derivativos é fundamental que se compreenda como se relacionam com o ativo-objeto e as influências que sofrem com a mutação deste.

- b) Risco de taxa de juros: a taxa de juros é usada para calcular o valor de um ativo ou uma carteira, pois representa o custo de oportunidade do aplicador. Quando a taxa de juros varia o valor dos ativos também varia.
- c) Risco de liquidez do mercado: este risco está diretamente ligado ao volume e estoque de contratos em aberto. Para os derivativos negociados em Bolsa a informação da liquidez é precisa e de fácil obtenção, o que não ocorre com os derivativos negociados no mercado de balcão.
- d) Risco de crédito: este risco é bem conhecido pelos bancos e tem uma longa história.

Nesse âmbito os mercados derivativos vêm adquirindo grande importância para os agentes econômicos, devido à necessidade de redução de risco em um mecanismo de proteção contra as intempéries econômicas (TOP DERIVATIVOS, 2015).

1.2 DERIVATIVOS

Segundo KOLB e OVERDAHL (2003), derivativos podem ser definidos como contratos que derivam boa parte do seu valor de um ativo-objeto que tem como referência sua taxa ou índice. E como a definição evidencia, deve haver pelo menos um ativo-objeto.

Esses contratos podem ser classificados em derivativos financeiros ou derivativos de commodities.

O derivativo financeiro é um contrato que especifica um instrumento financeiro. Por exemplo, pode ser derivado de uma ação ou taxa de juros. Na prática, derivativos financeiros cobrem uma diversa gama de ativos-objeto como ações, taxas de juros, taxas câmbio, indicadores financeiros, entre outros.

O derivativo de commodities, por outro lado, é um contrato derivativo que especifica a commodity ou um indicador da commodity como o ativo-objeto. Por

exemplo, petróleo bruto, soja, café, boi gordo e milho. No entanto no mercado de derivativos existem alguns casos em que dependem de mais de um ativo-objeto, como é o caso do biodiesel, em que a sua matéria prima é composta por óleos vegetais e gorduras animais.

1.2.1 Contrato-derivativos

Nos últimos 30 anos, os derivativos tornaram-se muito importante no mercado financeiro. Futuros e opções são ativamente negociados no mundo todo. Diferentes tipos de contratos a termo, swaps, opções e outros derivativos são utilizados por instituições financeiras, gerentes de fundos e outros negociantes do mercado financeiro (Hull, 2012).

Dessa forma serão apresentados os quatro tipos de contratos derivativos mais importantes e comumente encontrados no mercado: os contratos a termo, futuro, swap e de opções. A Tabela 1 resume as diferentes modalidades.

Tabela 1 - Principais diferenças entre as modalidades de derivativos

	Mercado a termo	Mercado futuro	Mercado de opções	Mercado de swap
Onde se negocia	Balcão ou bolsa.	Somente bolsa.	Balcão ou bolsa.	Balcão ou bolsa.
O que se negocia	Compromisso de comprar ou vender um bem por preço fixado em data futura.	Compromisso de comprar ou vender um bem por preço fixado em data futura.	Os compradores adquirem o direito de comprar ou de vender por preço fixo em data futura.	Compromisso de troca de um bem por outro. Trocam-se fluxos financeiros.
Posições	Ausência de intercambialidade.	Intercambialidade.	Intercambialidade.	Ausência de intercambialidade.
Liquidação	A estrutura mais comum é a liquidação somente no vencimento. Há contratos em que o comprador pode antecipar a liquidação.	Presença de ajuste diário. Compradores e vendedores têm suas posições ajustadas financeiramente todos os dias, com base no preço de fechamento da bolsa.	Liquidam-se os prêmios na contratação da operação. No vencimento, apura-se o valor da liquidação a partir do exercício do direito dos compradores.	Somente no vencimento ou antecipadamente, com a concordância das partes.

Fonte: BM&F (2007b)

1.2.1.1 Mercado a Termo

O contrato a termo foi o primeiro tipo de modalidade de derivativo conhecido pela sociedade para entrega de bens futuros, por meio do comércio organizado. Atualmente, os contratos a termo são negociados sobre diversas opções tais quais mercadorias, ações, moedas, títulos públicos, dentre outros (BM&F, 2007b).

Como comprador ou vendedor de um contrato a termo, o agente se compromete a comprar ou vender certa quantidade de um bem (mercadoria ou ativo financeiro) por um preço fixado, ainda na data de realização do negócio, para liquidação em uma data futura. No mercado a termo, as partes se obrigam a liquidar, em uma data definida entre elas, no futuro, a operação combinada no presente. Por exemplo, um produtor de café que pretende vender sua safra nos próximos meses, e acorda com um comprador um preço e data para liquidar a negociação.

Ainda segundo a BM&F (2007b), os contratos a termo podem ser encontrados em bolsa, mas são mais comumente negociados no mercado de balcão (contratos bilaterais negociados fora das bolsas). Em geral, os contratos a termo são liquidados integralmente no vencimento, não havendo possibilidade de sair da posição antes disso. Essa característica impede o repasse do compromisso a outro participante. Em alguns contratos a termo negociados em bolsa, a liquidação da operação a termo pode ser antecipada pela vontade do comprador.

1.2.1.2 Mercado Futuro

Tal como no contrato a termo, você se compromete a comprar ou a vender certa quantidade de um bem (mercadoria ou ativo financeiro) por um preço estipulado para liquidação em data futura. A principal diferença é que, no mercado a termo, os compromissos são liquidados integralmente nas datas de vencimento; no mercado futuro, esses compromissos são ajustados financeiramente às expectativas do mercado acerca do preço futuro daquele bem, por meio do procedimento de ajuste diário.

O mecanismo de funcionamento do mercado futuro imprimiu característica importante na negociação para liquidação futura: a competitividade. A homogeneidade dos produtos, a transparência, a velocidade das informações e a livre mobilidade de recursos permitem que os preços se ajustem conforme as leis de mercado, ou seja, de acordo com as pressões de oferta e procura. Como os participantes podem entrar e sair do mercado a qualquer momento, os futuros tornaram-se muito importantes para as economias em face de sua liquidez (BM&F, 2007b).

1.2.1.3 Swaps

Segundo Hull (2012) os primeiros contratos de swap foram negociados no começo dos anos 80. Desde então esse mercado tem tido um crescimento bastante expressivo de forma que os swaps atualmente ocupam uma posição de relativa importância no mercado de derivativos.

Swap pode ser considerado um contrato entre dois agentes que concordam em trocar fluxos de caixa futuro. O acordo define as datas em que os fluxos de dinheiro serão pagos e a forma na qual eles serão calculados. E é de extrema importância que o fluxo de caixa descrito no contrato seja baseado em preços ou índices de conhecimento público e de divulgação independente dos agentes contratantes (BM&F, 2016).

Normalmente o cálculo dos fluxos de pagamentos envolvem taxas de juros futuras, taxa cambial futura ou outras variações de mercado. As empresas que negociam com contratos swap, não contratam empresas financeiras para intermediar as negociações. Por essa razão as empresas devem estar preparadas para assumir os riscos que esses contratos podem acarretar. Um exemplo prático é um agente que possui dívidas em dólar e precisa se proteger contra a possível alta do dólar e consequentemente o aumento de sua dívida.

1.2.1.4 Mercado de opções

Foco deste trabalho, o mercado de opções pode ser definido como o direito de comprar ou vender um bem ou ativo, por um preço determinado e exercê-lo em uma data futura prefixada (TOP DERIVATIVOS, 2015). Para isso o titular da opção paga um prêmio para adquirir o direito de exercer no momento acordado no contrato.

As opções são negociadas tanto em bolsas quanto em mercado paralelo e são divididas em dois tipos de opções: as opções call e put.

As opções call dão ao investidor o direito de comprar um ativo-objeto em certo período de tempo e preço, em contrapartida as opções put dão o direito de vender nas mesmas condições. A data de fechamento é pré-estabelecida e o preço do contrato para a compra ou venda do ativo-objeto, também pré-estabelecido, é denominado preço de exercício, em inglês *strike price*. (Hull , 2012)

Abaixo, serão detalhados os tipos opções de compra e venda expostos por Toledo Filho, Cardoso e Santos (2010).

A opção de compra, conhecida como call, é um contrato que dá ao comprador (titular) o direito de adquirir um ativo-objeto, que pode ser uma ação, um contrato futuro, entre outros, pelo preço de exercício que pode ser definido como um preço dentro de um prazo combinado. O preço de exercício e o prazo do contrato, assim como o lote-padrão (quantidade mínima) são definidos pela Bolsa.

O vendedor da opção, comumente chamado de lançador, tem a obrigação de entregar o ativo-objeto no preço e prazo contratados, recebendo em troca um prêmio, que é o preço da opção. Caso o titular não exerça seu direito no prazo estipulado, perderá o prêmio. Normalmente, o titular somente exercerá seu direito de comprar o ativo-objeto pelo preço de exercício, se este for inferior ao preço de mercado.

Já a opção de venda (*put*) é um tipo de contrato no qual o titular tem o direito de vender ao lançador o ativo-objeto pelo preço contratado (preço de exercício), dentro do prazo definido. Com o mesmo raciocínio anterior, o titular somente

exercerá seu direito de vender se o preço de mercado do ativo for abaixo do preço de exercício.

Para Schouchana (2004) as opções podem ser classificadas em virtude da relação entre os preços de exercício e preço do ativo objeto. Essas classificações são chamadas de dentro do dinheiro (on the money) e fora do dinheiro (out of money). Quando a liquidez do mercado é maior, ou seja, quando o valor do ativo-objeto é maior do que o preço de exercício na venda de uma opção (put) ou quando o valor do ativo objeto é inferior ao preço de exercício na compra da opção (call). E por fim, se os valores se igualarem, é dito que o mercado está no dinheiro. Para uma melhor compreensão, foram representadas as classificações na tabela abaixo.

Tabela 2 - Classificação dentro e fora do dinheiro

Classificação	Compra da opção(Call)	Venda da opção(Put)
Dentro do dinheiro	Preço de exercício menor que o preço do ativo-objeto	Preço de exercício maior que o preço do ativo-objeto
No dinheiro	Preço de exercício igual que o preço do ativo-objeto	Preço de exercício igual que o preço do ativo-objeto
Fora do dinheiro	Preço de exercício maior que o preço do ativo-objeto	Preço de exercício menor que o preço do ativo-objeto

Fonte: Shouchana (2004)

Nota: Modificado

Por fim, as opções podem ser subdivididas em americanas e europeias. As opções americanas podem ser exercidas a qualquer tempo até a data de expiração do contrato. Por outro lado as europeias podem ser exercidas apenas na data de vencimento do contrato. Considerando a maior liquidez da opção americana, essas representam a maior parte das negociações. Por outro lado, as opções europeias são normalmente mais fáceis de analisar que as americanas. (Hull, 2012)

1.2.1.4.1 Opções agropecuárias

De acordo com Schouchana e Miceli (2004) os agentes do mercado agropecuário necessitam do mercado futuro e de opções por uma série de razões econômicas, dentre elas:

- para saber, com antecedência, se o produto terá preço que garanta a rentabilidade do empreendimento na ocasião de sua venda. Ao vender sua produção, o produtor corre o risco de o preço não ser suficiente para cobrir seus custos e sua margem de rentabilidade. Nesse sentido, a fixação do preço antes do plantio, mediante hedge em bolsa, permite ao agricultor vender seu produto com lucro antes da colheita;
- os exportadores fecham negócios para entrega em meses futuros e não precisam comprar as mercadorias com antecedência, armazená-las e depois embarcá-las. Para não correr o risco da oscilação dos preços, compram a futuro para garantir sua margem de rentabilidade. Os mercados futuros e de opções substituem temporariamente a necessidade de carregar um produto, muitas vezes a um custo mais baixo;
- os compradores querem fixar preço dos insumos para garantir o lucro, por isso fazem o hedge com antecedência, sem correr riscos indesejáveis;
- os produtores usam os contratos futuros e de opções como colateral de garantia de empréstimo junto aos bancos. Estes, por sua vez, ao verificarem que o cliente praticamente não está exposto ao risco de mercado, podem dar-lhe crédito a um custo inferior ao que dariam sem a cobertura (o hedge);
- existem distorções de negócios em que arbitradores têm papel importante. Quando são identificadas, eles compram em um mercado e vendem em outro, até que os dois lados se equilibrem. Essas distorções podem ocorrer entre o preço a vista e futuro, entre dois vencimentos futuros, ou entre duas praças diferentes.

Segundo o guia do CME GROUP (2009) existem 5 estratégias para os compradores e vendedores de commodities. Os compradores podem ter como estratégia: comprar futuros para proteção contra a alta de preços, comprar opções de compra para proteção contra a alta de preços e oportunidades em caso de queda dos preços, vender opções de venda para diminuir o seu preço de compra em um mercado estável, comprar uma opção de compra e vender uma opção de venda para estabelecer uma faixa de preços, comprar à vista sem gerenciamento de risco. Já os vendedores possuem como estratégia os fatores: vender futuros para proteção contra a queda de preços, comprar opções de venda para proteção contra a queda de preços e oportunidade se os preços subirem, vender opções de compra para aumentar seu preço de venda em um mercado estável, comprar uma opção de

venda e vender uma opção de compra para estabelecer uma faixa de preços de venda e vender à vista sem gerenciamento de risco.

1.2.2 Bolsa de valores e Mercado de balcão

Atualmente, para operar no mercado de derivativos existem duas formas de negociação: Bolsa de Valores e Mercados de balcão.

As bolsas de valores e as entidades do mercado de balcão têm o status de autorreguladores, pois são responsáveis por estabelecer diversas regras relativas ao funcionamento dos mercados por elas administrados e à atuação dos intermediários que neles atuam (Portal do investidor, 2016).

1.2.2.1 Mercado de Balcão

Segundo Carrara (2013) o mercado de balcão pode ser definido como os negócios realizados fora da bolsa, de forma que os agentes negociam diretamente uns com os outros. As informações de negociação são trocadas através de sistemas eletrônicos ou telefone. De uma maneira mais sintetizada as transações no mercado de balcão acontecem diretamente entre as partes interessadas ou também por intermédio de instituições financeiras, entretanto sempre sem o envolvimento da bolsa.

Nesse tipo de transação apenas as partes contratadas tem o conhecimento dos termos, que são feitos especificamente para as duas partes envolvidas no acordo (comprador e vendedor). Entre as características desse mercado estão a não existência de um local físico definido, são menos formais embora, em geral seja bem organizado e possuem uma rede de negociações e relacionamentos centralizados nos negociantes (IMF, 2012).

Hull (2012) explica que os mercados de balcão, do inglês OTC (Over The Counter), é uma importante alternativa às transações realizadas em bolsa. Em termos de quantidade de negociações realizadas, o mercado de balcão vem se destacando em relação às negociações em bolsa. Uma grande vantagem é que não

existem as especificações padrões dos contratos e, portanto, podem ser criados de forma que atendam as necessidades específicas de cada agente. Por outro lado, a desvantagem principal é de que existe um risco de um dos participantes não honrarem com o contrato acordado.

1.2.2.2 Bolsa de Valores

A bolsa de valores, também conhecida como mercado organizado, é estruturada de forma a gerar os recursos necessários para gerenciar os riscos das transações contra oscilações de preços.

Uma característica da bolsa é de que é uma instituição privada sem fins lucrativos e desempenha socialmente a função de possibilitar que qualquer cidadão possa ter acesso ao mercado em condições igualitárias entre os membros envolvidos. Dessa forma a BM&F garante que os agentes econômicos tenham livre acesso, elabora contratos neutros, assegura transparência e igualdade aos grupos e pessoas. Além disso, outras funções importantes da bolsa são: controlar e supervisionar as sessões diárias de negociações, divulgar as cotações e estatísticas, realizar e garantir os procedimentos de liquidação financeira, desenvolver normas, procedimentos de liquidação financeira e entrega da mercadoria, desenvolver contratos que atendam as funções econômicas de mercados futuros, promover os mercados de derivativos, zelar pela autorregulamentação, providenciar arbitragem para diminuir dúvidas quanto a qualidade do produto na entrega da mercadoria (SCHOUCHANA E MICELI, 2004).

No quadro 1 está um comparativo entre ambos os mercados.

Quadro 1 - Comparativo entre os mercados de balcão e bolsa

Mercado de Balcão	Mercado de Bolsa
Contratos flexíveis	Contratos padronizados
Não existe contraparte central. Operações fechadas entre dois participantes	Bolsa é contraparte central. Operações fechadas contra a bolsa.
Risco contraparte, eventualmente com aportes de garantia	Bolsa exerce papel de garantidora das operações (risco sistêmico)
Não há chamada de margem (pode haver aporte de garantia, se celebrado entre as partes)	Há chamada de margem

Fonte: Cetip

1.2.3 Estratégias de negociação no mercado de derivativos

Os derivativos podem ser divididos em diferentes estratégias (hedging, especulação e arbitragem) que são imprescindíveis para o sucesso das negociações e se complementam entre si garantindo um mercado forte e líquido.

1.2.3.1 Hedging

Hedging se refere normalmente a uma transação futura de modo a reduzir um risco pré-existente inerente a atividade do negócio. O mecanismo de hedge é um mecanismo de proteção de um bem ou ativo contra variações de taxas, moedas ou preços. Equivale a ter uma posição oposta ao mercado à vista, para minimizar o risco de perda financeira decorrente de alterações adversas de preços. É importante ressaltar que o hedging não elimina o risco de variação de preços, mas sim transfere esse risco para o especulador. (KOLB; OVERDAHL, 2003; TOP DERIVATIVOS, 2015)

Segundo Hull (2012) existe uma diferença fundamental entre o hedging usando opções e contratos futuros. Os contratos futuros têm como objetivo neutralizar o risco fixando o preço que o hedger irá pagar na trava de baixa, ou trava de alta. Os contratos de opções por outro lado, providenciam segurança. Esse tipo de contrato oferece ao investidor uma segurança contra flutuações dos preços no

futuro permitindo que o investidor se beneficie com movimentações favoráveis de preço. Os investidores ainda podem trabalhar com o hedging no sentido de limitar os riscos.

1.2.3.2 Especulação

A Especulação ao contrário do hedging tem como objetivo o lucro. Os especuladores atuam de forma a negociar os derivativos com o objetivo de lucrar com o diferencial entre o preço de compra e venda (BM&F, 2007a).

Hull (2012) explica que para um especulador utilizando opções, a relação entre os preços são de grande importância. Nos mercados futuros, as especulações de opções dependem de técnicas de spread que envolve a negociação com duas ou mais opções para criar uma única opção. Muitos especuladores de opções são atraídos ao mercado pelas oportunidades especulativas que as opções oferecem, já que em relação as ações, as opções oferecem um grande poder de alavancagem.

1.2.3.3 Arbitragem

A arbitragem consiste em tirar vantagem da diferença de preços de um mesmo produto negociado em mercados diferentes. A estratégia do arbitrador é obter lucros evitando assumir riscos diretamente (BM&F, 2007a).

FARHI (1999) menciona que as operações de arbitragem são compostas de duas posições tanto no ativo com temporalidade distinta quanto em praças diferentes envolvendo derivativos diferentes, ou ainda com diferentes ativos que possuam correlação na variação dos preços. Sendo assim esse tipo de operação visa tirar vantagem das distorções dos preços.

Diante das oscilações inerentes ao mercado econômico faz-se necessária uma análise para entender as possibilidades de negociação no mercado de opções, buscando avaliar alternativas de proteção através de call e put. Os próximos capítulos tem o objetivo de aprofundar o conhecimento dentro das opções e dar

exemplos de estratégias financeiras envolvendo os agentes na cadeia produtiva do milho.

CAPÍTULO 2 PRECIFICAÇÃO DE OPÇÕES

No mercado de commodities, Gobira (2014) aponta que grande parte das negociações é feita nos mercados futuros, e o mercado de opções não foge a esse padrão. Tendo em vista que ao emitir uma opção o emissor precisa se proteger, os contratos futuros tornam-se a decisão mais segura.

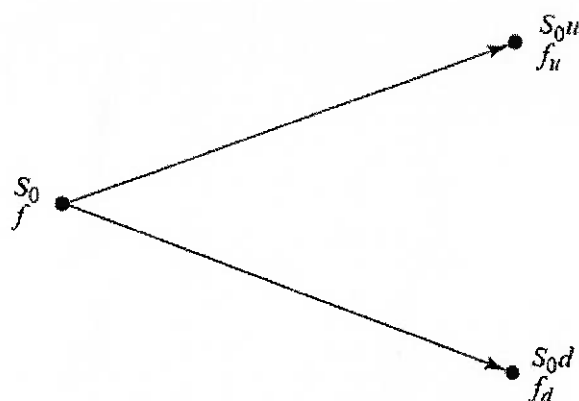
Sendo assim será apresentado nesse capítulo dois dos principais modelos de precificação de opções: a árvore binomial e o modelo de Black & Scholes.

2.1 MODELO BINOMIAL

Um método popular de precificação de opções é conhecido como modelo binomial, o qual envolve a construção de uma árvore binomial. O método representa diferentes possibilidades de caminhos que podem ser seguidos pelo ativo-objeto na vida da opção. Um pressuposto básico utilizado é de que o ativo-objeto segue um caminho aleatório. Em cada passo, o ativo tem certa probabilidade de subir ou descer. No limite quando o passo se torna menor, esse modelo é o mesmo que o Black & Scholes (Hull, 2002).

Ainda segundo o autor, uma generalização do método não arbitrário pode ser feita considerando uma ação S_0 e a opção dessa ação com preço f . A percentual variação da ação deve ser considerada $u > 1$ quando ocorrer um aumento e $d < 1$ quando houver queda. Assim supõe-se que para valores de queda o valor da opção é f_u quando o valor da opção sobe e, f_d quando o valor da opção cai.

Figura 10 - Preço de uma opção e ação em um passo da árvore generalizada



Fonte: Hull (2002)

Dado um portfólio Δ , podemos considerar que no final da vida de uma opção em movimento de ascensão é

$$S_0u \Delta - f_u \quad (1)$$

Analogamente, quando apresenta movimento de queda, tem-se:

$$S_0d \Delta - f_d \quad (2)$$

Os dois valores são iguais quando:

$$S_0u \Delta - f_u = S_0d \Delta - f_d \quad (3)$$

A equação pode ser reescrita na forma:

$$\Delta = \frac{f_u - f_d}{S_0u - S_0d} \quad (4)$$

Sendo essa a forma livre de riscos, se denotarmos a taxa livre de risco r no tempo T , o valor presente do portfólio fica:

$$(S_0u \Delta - f_u)e^{-rT} \quad (5)$$

Custo do portfólio:

$$S_0 \Delta - f \quad (6)$$

Segue, portanto que:

$$S_0 \Delta - f = (S_0u \Delta - f_u)e^{-rT} \quad (7)$$

Substituindo o Δ na equação, tem-se o resultado:

$$\frac{f_u(1 - de^{-rT}) + d(ue^{-rT} - 1)}{u - d} \quad (8)$$

Em que:

$$p = \frac{e^{rT} - d}{u - d} \quad (9)$$

De uma forma generalizada para opções futuras, a probabilidade de ascensão ou queda fica na forma:

$$p = \frac{1 - d}{u - d} \quad (10)$$

2.2 MODELO DE BLACK & SCHOLES

No começo dos anos 70 Fischer Black, Myron Scholes e Robert Merton atingiram os melhores resultados na precificação de opções europeias de ações. Esse foi o desenvolvimento do que se tornou conhecido como o modelo Black-Scholes-Merton, ou mais popularmente conhecido como Black & Scholes. O modelo teve uma grande influência no modo como negociava os preços e protegia os derivativos. Em 1997 a importância do modelo de precificação foi reconhecida pelo prêmio Nobel de economia.

Antes da modelagem feita por Fischer, Myron e Robert pesquisadores fizeram suposições similares e calcularam corretamente os payoffs de opções europeias. No entanto, é difícil saber a correta taxa de desconto para esse payoff. Black & Scholes utiliza o modelo de precificação de ativos financeiros (CAPM) para determinar a relação entre o retorno requerido de mercado da opção e o retorno da ação. Essa tarefa, entretanto, não é trivial visto que as relações dependem tanto do preço quanto do tempo da ação (Hull 2012).

Figura 11 - Myron S. Scholes recebendo o premio Nobel de economia



Fonte: Nobelprize.org

Para uma melhor compreensão do modelo, serão apresentados alguns conceitos aplicados na equação de Black & Scholes de precificação de opções.

2.2.1 Propriedade lognormal dos preços

O modelo de precificação utilizado por Fischer Black, Myron Scholes e Robert Merton assume que a alteração percentual nos preços de ações em um curto período de tempo, apresenta comportamento de uma distribuição normal.

O valor médio de retorno no tempo Δt é μ . $\sigma\sqrt{\Delta t}$ é o desvio padrão do retorno de forma que:

$$\frac{\Delta S}{S} \sim \Phi(\mu\Delta t, \sigma^2\Delta t) \quad (11)$$

Onde ΔS é igual a variação do preço da ação S no tempo e a função Φ corresponde a distribuição normal com média $\mu\Delta t$ e variância $\sigma^2\Delta t$.

Esse modelo também pode resultar na equação:

$$\ln S_T \sim \Phi\left[\ln S_0 + \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)T, \sigma^2T\right] \quad (12)$$

S_T é o preço da ação em um tempo futuro T e S_0 o preço da ação no tempo 0. Essa equação mostra que $\ln S_T$ apresenta uma distribuição lognormal com média $\ln S_0 + (\mu - \sigma^2/2)T$ e com variância $\sigma^2 T$.

Uma variável que possui uma distribuição lognormal pode assumir qualquer valor entre zero e infinito. O valor esperado $E(S_T)$ é dado por:

$$E(S_T) = S_0 e^{\mu T} \quad (13)$$

Esse valor confirma a definição do valor de μ como a taxa esperada de retorno. E a variância S_T é dado por:

$$\text{var}(S_T) = S_0^2 e^{2\mu T} (e^{\sigma^2 T} - 1) \quad (14)$$

2.2.2 Volatilidade

Para Shouchana e Miceli (2004) o dimensionamento do risco de variação do preço, ou volatilidade, é obtido por meio de cálculos estatísticos que mensuram quantitativamente quanto os preços oscilam ao redor da média em um período de tempo específico.

Por outro lado, para Hull (2012) a volatilidade de uma ação é a medida de incerteza sobre o seu retorno. Quando a variação do tempo é pequena o valor médio do retorno, como pode ser visto na equação 11, mostra que $\sigma^2 \Delta t$ é aproximadamente igual a variância da variação percentual do preço de ações no tempo Δt . O que significa que o desvio padrão no período de tempo Δt é aproximadamente igual a $\sigma \sqrt{\Delta t}$.

As medidas de volatilidade podem ser calculadas de diferentes formas. A seguir serão apresentados alguns métodos de quantificação da volatilidade.

2.2.2.1 Desvio padrão e variância

Duas formas bastante corriqueiras de se mensurar a variação com que todos os valores se distribuem é através do cálculo da variância e a sua raiz quadrada, o

chamado desvio padrão. Essas duas possibilidades avaliam quantitativamente o modo com que os dados flutuam em torno da média.

A variância de uma amostra pode ser considerada como aproximadamente a média das diferenças ao quadrado entre cada uma das observações. Assim, para uma amostra contendo n observações u_1, u_2, \dots, u_n , a variância da amostra pode ser escrita da seguinte forma (LEVINE; BERENSON; STEPHAN, 2000).

$$\sigma^2 = \frac{(u_1 - \bar{u})^2 + (u_2 - \bar{u})^2 + \dots + (u_n - \bar{u})^2}{n-1} \quad (15)$$

O desvio padrão, pode então ser escrito de forma enxuta:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2} \quad (16)$$

Sendo que:

l : i ésimo valor

s_i : valor do ativo-objeto no instante i

$$u_i = \ln\left(\frac{s_i}{s_{i-1}}\right)$$

n : tamanho da amostra

Escolher a quantidade n de valores não é uma tarefa simples. De uma maneira geral, quanto maior o número de dados coletados melhor é a eficácia, mas σ não muda com o tempo e dados muito antigos podem não ser relevantes para previsão da volatilidade futura. Uma quantidade de dados que vem se mostrando um valor razoável, é utilizar o valor de fechamento de 90 a 180 dias (Hull, 2002).

2.2.2.2 EWMA

O *Exponentially Weighted Moving Average* (EWMA), ou médias móveis exponencialmente ponderadas é um modelo paramétrico de modelar o retorno de uma série de ativos. Em muitas literaturas também pode ser encontrado como modelo do alisamento exponencial. Essa modelagem tem uma particularidade que é modelar a memória de curto prazo da volatilidade (λ) (SILVA et al, 2009). Como pode ser visto na equação 17.

$$\sigma_t^2 = (1 - \lambda)r_{t-1}^2 + \lambda\sigma_{t-1}^2 \quad (17)$$

Onde:

λ =fator de decaimento

r = variação do ativo-objeto

σ_t^2 = Volatilidade no instante t

Como se pode ver na equação, quanto maior o valor do fator de decaimento λ , mais a volatilidade se manterá próxima ao valor anterior calculado. Sendo esse um método em que se calcula uma média ponderada entre o valor do retorno e volatilidade do instante anterior ao considerado.

2.2.2.3 GARCH

Os modelos ARCH (*Autoregressive conditional heteroskedasticity*) foram introduzidos por Engle durante um estudo das taxas de inflação, e a partir desse momento uma gama de derivações do modelo foram propostas (NEDER, 2014).

O modelo ARCH apesar de ser relativamente simples precisa-se muitas vezes de um grande número de parâmetros para descrever adequadamente o ativo-objeto. Dessa forma, Bollerslev propôs uma extensão generalizada do modelo ARCH, chamado então de GARCH (TSAY, 2002). O modelo GARCH pode ser então calculado como:

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i \cdot \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \cdot \sigma_{t-j}^2 + v_t \quad (18)$$

Onde:

σ_t^2 é a variância condicionada em t ;

ω é a constante;

ε_{t-i}^2 é o erro observado no tempo $t-i$, em que i denota a defasagem;

α_i é a constante multiplicadora do termo de defasagem i ;

β_j é a constante multiplicadora do termo de defasagem j ;

σ_{t-j}^2 é a variância condicionada observada em $t-j$

v_t é um ruído branco[N(0,1)].

Tsay (2002) identifica que a fraqueza do método GARCH é que esse tipo de modelo responde tanto positivamente quanto negativamente a variações abruptas, e os mercados ao contrário não reagem dessa forma.

2.2.3 Fórmulas de Black & Scholes

As fórmulas mais conhecidas de Black & Scholes para precificação de opções call e put europeias são:

$$c = S_0 N(d_1) - Ke^{-rT} N(d_2) \quad (19)$$

e

$$p = Ke^{-rT} N(-d_2) - S_0 N(-d_1) \quad (20)$$

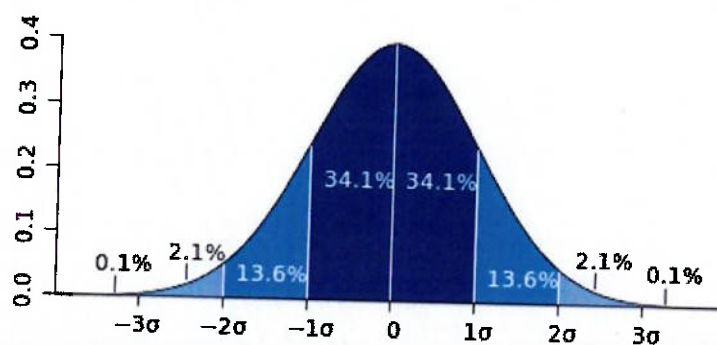
Em que d_1 e d_2 são definidos como:

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/K) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (21)$$

$$d_2 = \frac{\ln(S_0/K) + (r - \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (22)$$

A função $N(x)$ é a função probabilidade acumulada de uma distribuição normal. E as equações 19 e 20 representam o preço das opções europeias call e put, respectivamente.

Figura 12 - Função probabilidade acumulada de uma distribuição normal



Fonte: WIKIPEDIA

CAPÍTULO 3 METODOLOGIA E DISCUSSÃO

Como apresentado no capítulo anterior um dos modelos mais famosos e utilizados para precificação de opções é o modelo de Black & Scholes, o qual é uma evolução do modelo binomial aplicado à precificação. Por isso, o modelo foi tomado como pressuposto para realização desse trabalho.

É importante salientar que para o cálculo da precificação foram utilizados diferentes modelos de determinação de volatilidade, sendo eles: o desvio padrão constante, desvio padrão móvel, EWMA e GARCH. Cada qual tem a sua utilização específica e será proposto o melhor método para calcular o prêmio da opção.

3.1 PROGRAMA

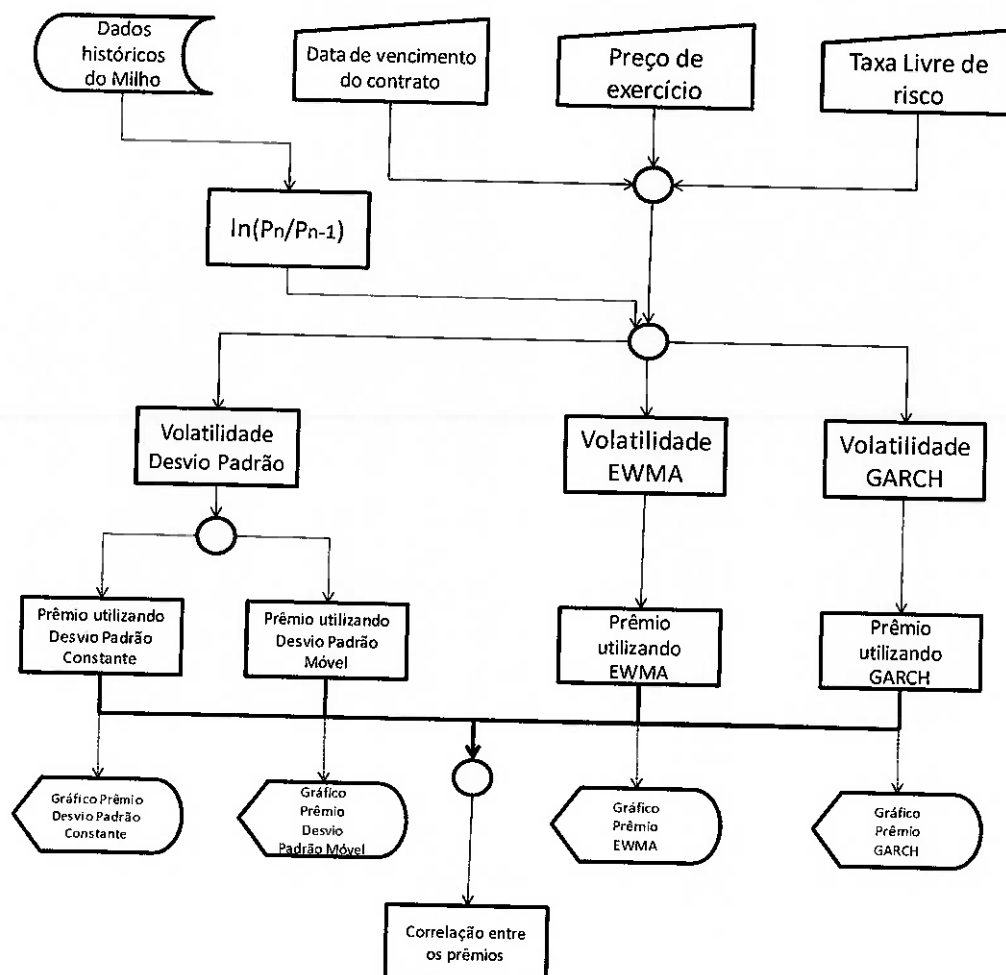
Para realização dos cálculos foi utilizado o programa Matlab, em que extrai os dados de uma planilha de Excel com os valores dos preços do milho em um período de oito meses. Os dados foram retirados do site da CEPEA onde é possível consultar o histórico diário das cotações do pregão regular da BM&F.

O programa faz a leitura dos arquivos com dados históricos do milho, contendo na primeira coluna as datas e na segunda coluna os valores de fechamento diário do preço do milho. Os valores são referentes a data de vencimento do contrato, preço de exercício acordado, e a taxa livre de risco considerada.

Em seguida é calculada a variação logarítmica dos dados históricos do milho. A partir desse resultado são geradas as volatilidades utilizando o desvio padrão, EWMA e GARCH. Na sequência são computados os prêmios, gerados os gráficos e medida a correlação entre os prêmios com cada volatilidade e o histórico de preços do ativo-objeto, no caso o milho.

O programa pode ser resumido de forma mais objetiva através do fluxograma abaixo.

Figura 13 - Fluxograma do programa



Fonte: Elaboração própria

3.2 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

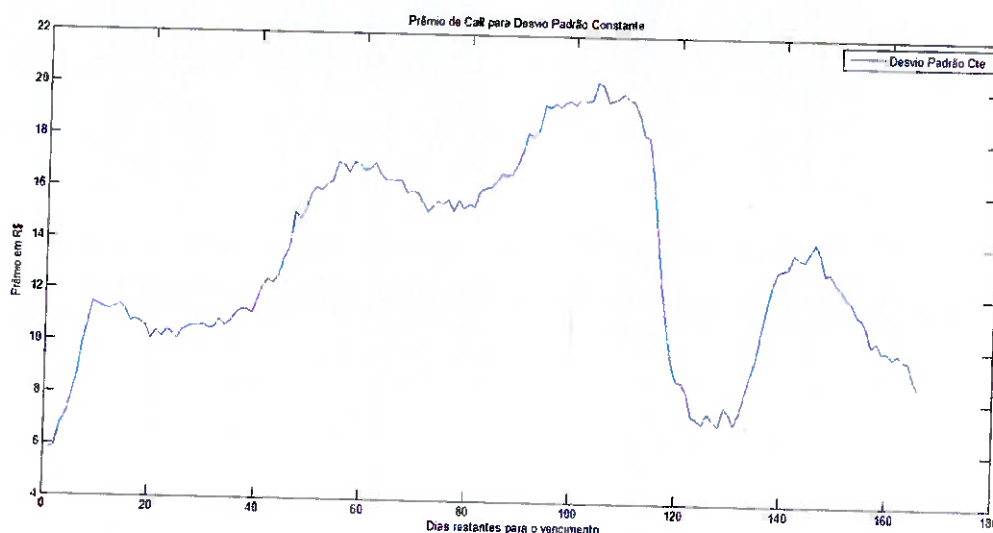
O cálculo do prêmio como visto no capítulo 2, depende do preço do ativo-objeto, do preço de exercício, da volatilidade, do tempo até o vencimento da opção e da taxa livre de riscos. A taxa livre de risco, como proposto em muitas literaturas, foi considerada a taxa Selic. Para o tempo até o vencimento, preço de exercício e preço do ativo objeto, não existe outras possibilidades senão os próprios dados.

No entanto, para volatilidade foram utilizadas diferentes metodologias para o cálculo da variação do preço do ativo-objeto, de forma a encontrar o método que melhor se enquadre na precificação das opções.

3.2.1 Análise da Volatilidade

O primeiro método analisado foi o desvio padrão constante. O cálculo leva em consideração o mesmo valor de desvio em todo o intervalo. Através desse método, encontrou-se uma variação condizente com o valor do ativo-objeto. Na Figura 14 é possível analisar como o valor do prêmio se comporta nas diferentes datas para o vencimento.

Figura 14 - Prêmio com desvio padrão constante



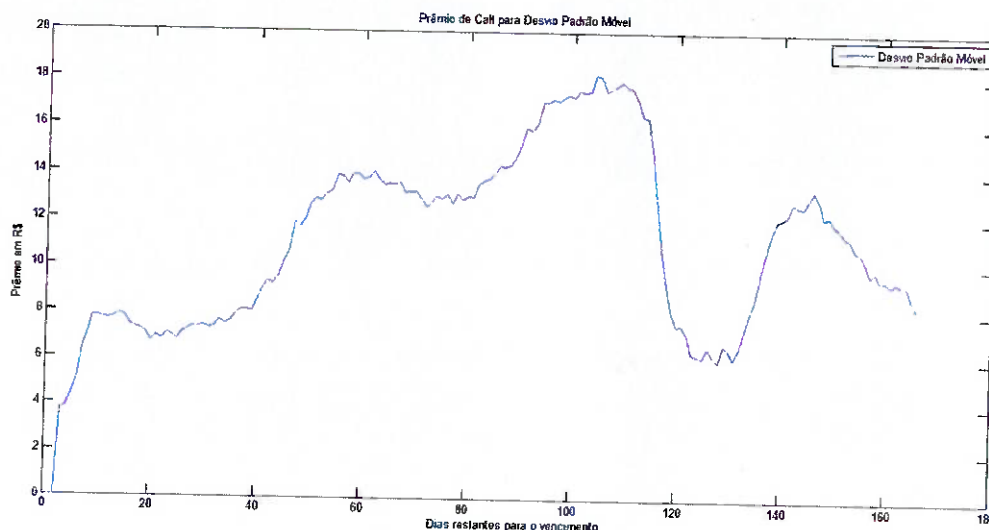
Fonte: Elaboração própria

Como se pode ver através desse método trivial de avaliação do desvio da amostra, tem-se que o prêmio, ou seja, o valor no qual o investidor deveria desembolsar para estar isento do risco da variação do preço da commodity seria de aproximadamente R\$6,00 no início dos dados e, 100 dias depois, esse prêmio aumenta para R\$20,00.

Outro método utilizado foi o desvio padrão móvel. Ele se diferencia do anterior pelo tamanho da amostra considerada. O valor apurado no primeiro modelo se mantém constante para todo o intervalo, enquanto o desvio padrão móvel corresponde a dispersão dos dados de períodos menores, sendo adotado os últimos dez dias. Por exemplo, quando considerado o valor do prêmio para data a 100 dias do vencimento, é calculado o desvio padrão entre os dias 110 e 101.

Analisando a Figura 15, nota-se que o comportamento é bastante similar ao método anterior. O desvio padrão móvel, se diferenciou perto do vencimento, pois os primeiros valores são iguais a zero.

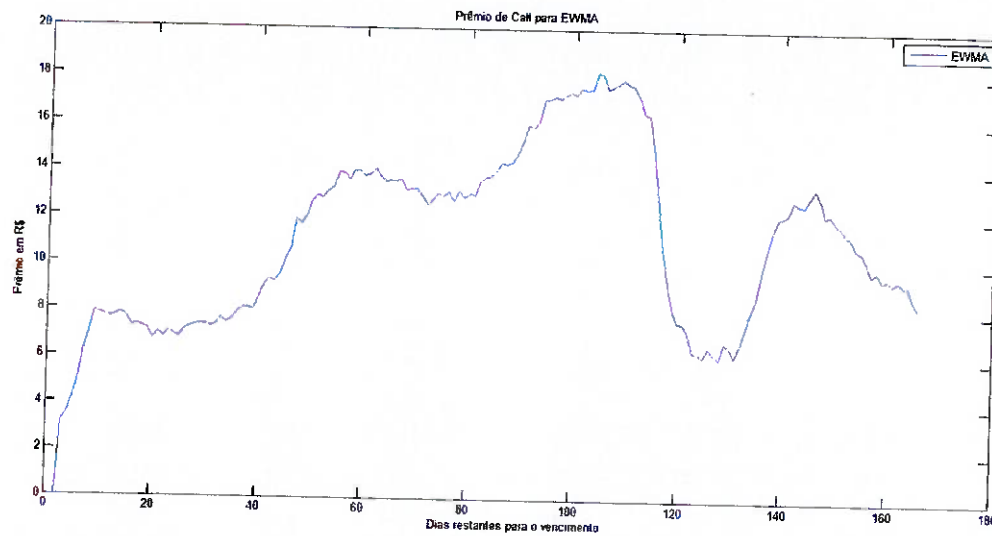
Figura 15 - Prêmio com desvio padrão móvel



Fonte: Elaboração própria

Quando o modelo de volatilidade com desvio padrão móvel é comparado com o método do EWMA observa-se novamente uma similaridade no perfil dos gráficos, além de apresentarem valores próximos. Uma mudança do método de cálculo em relação ao desvio padrão móvel, é que o EWMA considera apenas a variação relativa ao dia anterior, ou seja, uma média ponderada entre o valor EWMA do dia anterior e a variação do ativo-objeto referente ao dia anterior. O coeficiente lambda utilizado foi de 0,95, de maneira que a volatilidade acompanha melhor a resposta dos dados anteriores.

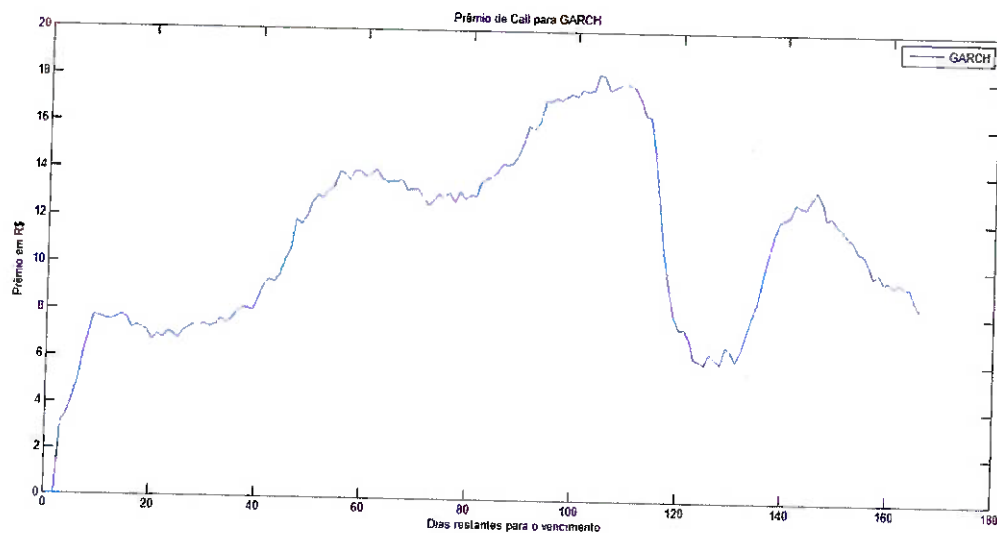
Figura 16 - Prêmio com EWMA



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 17 é possível avaliar o comportamento do prêmio através do modelo GARCH. Observa-se também uma proximidade na tendência dos dados, visto que esse método de cálculo da variação é dependente tanto dos valores passados dos retornos, quanto dos valores passados da volatilidade.

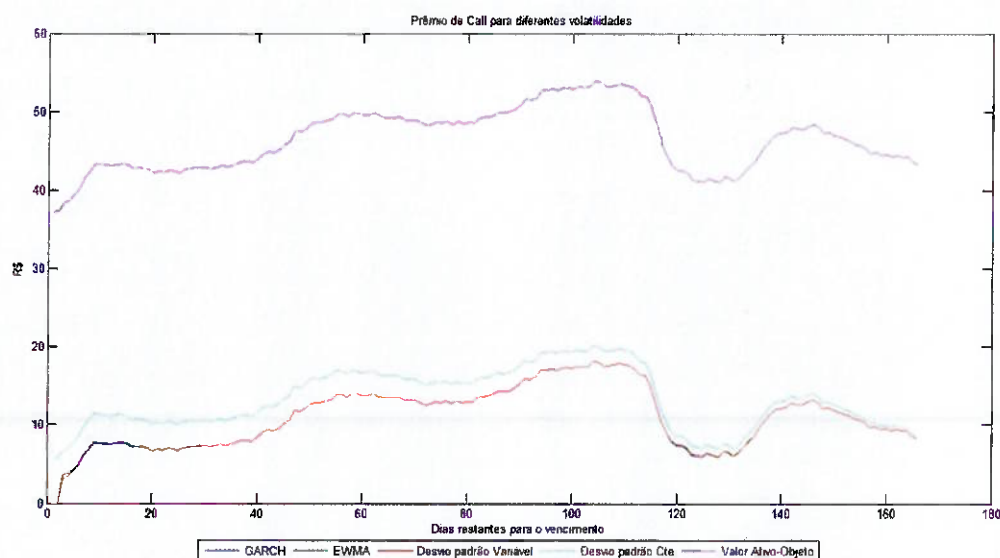
Figura 17 - Prêmio com GARCH



Fonte: Elaboração própria

Para uma melhor análise dos diferentes modelos expostos acima, foi gerada a Figura 18 destacando as curvas do valor do ativo-objeto, prêmio com desvio padrão constante, desvio padrão móvel, modelo EWMA e modelo GARCH.

Figura 18 – Comparativo entre os diferentes métodos de volatilidade



Fonte: Elaboração própria

Outro ponto importante de ser salientado é que os três modelos possuem uma variação similar com o ativo-objeto. A correlação feita entre os métodos de volatilidade discutidos e o preço do ativo-objeto pode ser visto no quadro Quadro 2 abaixo.

Quadro 2 - Correlação entre modelos de volatilidade

Correlação ente os prêmios com diferentes modelos de volatilidade			
Desvio Padrão Cte	Desvio Padrão Móvel	EWMA	GARCH
97,06%	99,81%	99,83%	99,88%

Fonte: Elaboração própria

Dessa forma, destaca-se que os modelos possuem valores bastante correlatos. Todos os resultados são satisfatório tendo em vista que são muito próximos a um, e portanto o prêmio varia praticamente linear ao ativo. A alta

correlação faz sentido, pois variações no preço do ativo-objeto induzem a variações também do prêmio.

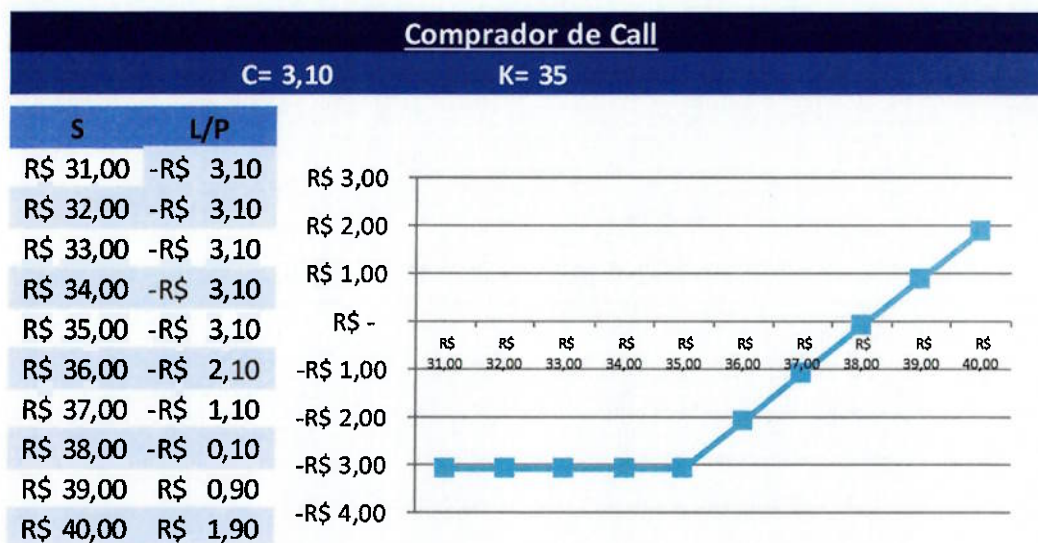
Portanto, qualquer um dos modelos poderia ser utilizado sem grandes variações no valor do prêmio da opção.

3.3 ANÁLISES DE COMPRA E VENDA DE OPÇÕES

3.3.1 Compra de Call

Considere um suinocultor que pretende comprar ração para sua criação de porcos, porém teme que os preços aumentem, dado o histórico de alta volatilidade de preços da safra passada. O valor do ativo-objeto (milho) no fechamento do contrato em 06/01/2016 era de R\$37 e com preço de exercício negociado de R\$35,00. Tem-se que o prêmio de uma call a ser pago é de R\$3,10 segundo a fórmula de Black & Scholes utilizando a volatilidade GARCH. Sendo o preço de fechamento em 15/09/2016 de R\$42,06 o criador de porcos desembolsou $R\$3,10 + R\$35,00 = R\$38,10$. Logo ele conseguiu apresentar lucro com a operação. A compra de uma opção de call apresenta prejuízo limitado e ganho ilimitado, portanto é aconselhável como mecanismo de proteção. Na figura seguinte nota-se o prejuízo máximo (pagamento do prêmio) e o ganho linear em relação ao aumento do valor do preço do ativo-objeto no fechamento, quando o mesmo é superior ao valor do prêmio mais o preço de exercício.

Figura 19 - Compra de uma opção call

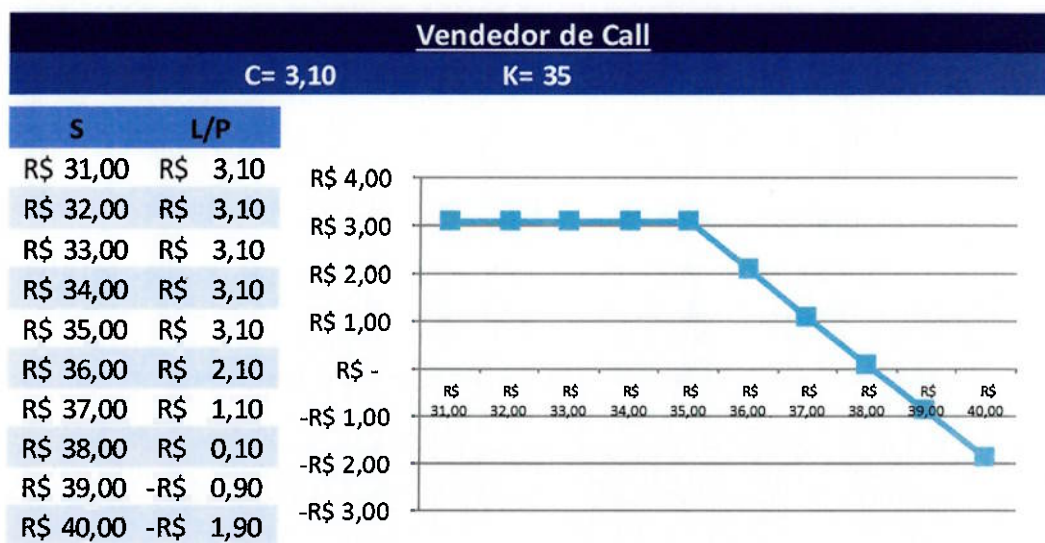


Fonte: Elaboração Própria

3.3.2 Venda de Call

Considerando uma análise contrária, ou seja por parte do produtor de milho, com o preço de fechamento de R\$42,06, o lançador da opção teria de arcar com o diferencial de preços, uma vez que o valor de fechamento é superior ao valor do preço de exercício mais o valor do prêmio. Nesse caso, o lançador teria de desembolsar $R\$35,00 + R\$3,10 - R\$42,08 = -R\$3,98$ para cada saca de 60 quilos de milho.

Figura 20 - Venda de uma opção call



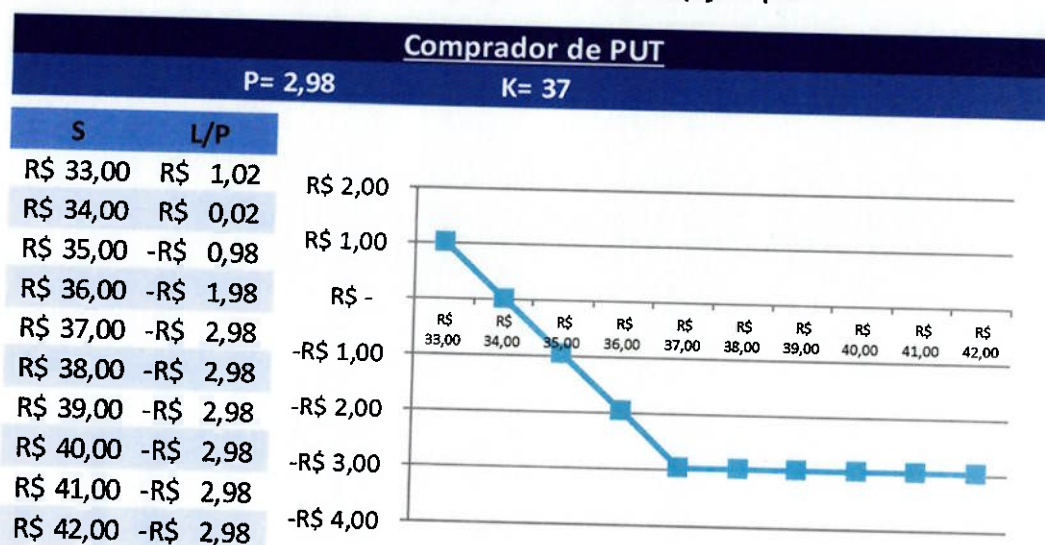
Fonte: Elaboração Própria

3.3.3 Compra de Put

Um produtor de milho que deseja fixar o preço de venda que se daria em 15/09/2016 para garantir sua margem de lucro, negocia em 01/04/2016 o fechamento de um contrato de compra de uma opção put com empresários do ramo de etanol do milho. O valor do prêmio calculado era de R\$2,98 utilizando o desvio padrão constante e o preço de exercício acordado foi de R\$35,00 reais. Assim, se fosse exercido no fechamento do contrato a R\$42,06, o comprador teria que pagar o valor do prêmio. Portanto, mesmo que o valor do milho fosse maior no vencimento o comprador dessa opção teria de despendar R\$2,98.

Vale ressaltar que nesse caso o comprador da opção tem a esperança de que o preço caia, pois quanto menor o valor do ativo-objeto, maior o seu lucro.

Figura 21 - Compra de uma opção put

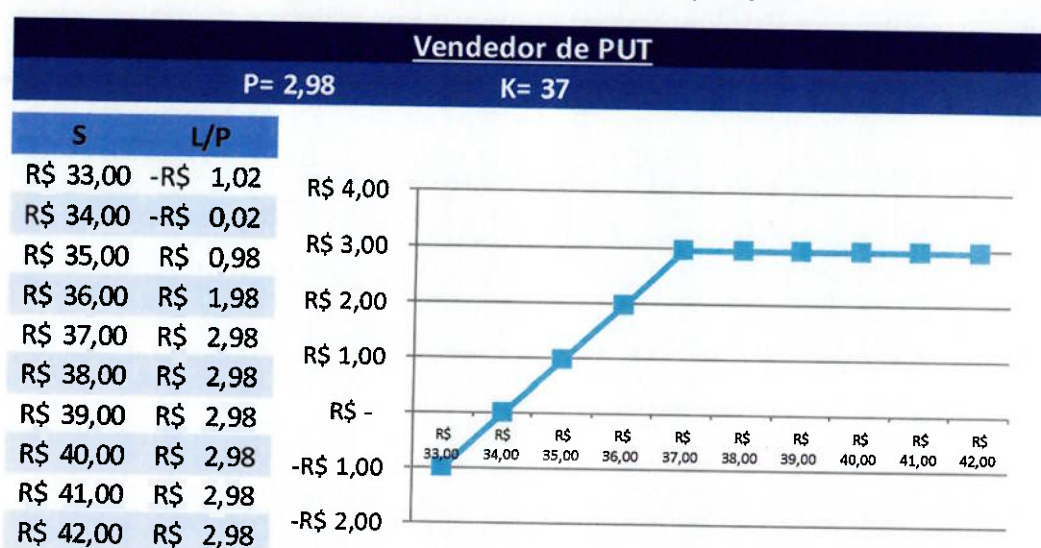


Fonte: Elaboração Própria

3.3.4 Venda de Put

Considerando as mesmas condições de data de compra, prêmio e preço de exercício e fechamento do item anterior o lançador da opção teria lucro, uma vez que o valor da opção é superior ao valor do preço de exercício. Então, o seu lucro seria igual ao valor do prêmio pago pelo investidor, ou seja, R\$2,98/saca. Na Figura 22, fica claro que quando o valor do ativo-objeto é superior ao valor do preço de exercício, o lançador apresenta um lucro igual ao prêmio.

Figura 22 - Venda de uma opção put



Fonte: Elaboração Própria

Pode-se concluir que existem diferentes estratégias de se negociar no mercado de opções. Dentre essas alternativas tanto a compra de call quanto a de put permitem ao investidor praticar o hedging com maior segurança, enquanto as vendas de call e put possuem um maior grau de risco. É importante ressaltar que, ambas as estratégias podem ser trabalhadas na forma de proteção, dependendo da escolha do agente.

Como retratado nesse capítulo, o suinocultor ao buscar se proteger contra a alta de preços, fez a compra de opções call e diante do cenário de alta, obteve lucro com a operação. Do outro lado, exposto a um risco maior, o

produtor que negociou opções de venda na expectativa de se proteger da queda dos preços, apresentou perdas da mesma grandeza do ganho do suinocultor.

Na análise seguinte, o produtor de milho que fechou negócio com empresários do ramo de etanol do milho com pagamento da operação no futuro e decidiu comprar opções put para proteção contra queda de preços, acabou tendo de assumir o valor do prêmio. Em contrapartida, o lançador da opção obteve lucro com a negociação, pois utilizou uma estratégia de proteção contrária ao do produtor e seu ganho foi igual ao prêmio.

Outro ponto importante é que na primeira análise foi considerada a volatilidade GARCH que precificou a opção em R\$3,10, valor bastante próximo ao real praticado na BM&F Bovespa que foi de R\$3,08 no dia 06/01/2016.

Como pode ser visto na figura 18, com excessão do desvio padrão constante todas as volatilidades estão próximas ao valor real do prêmio.

Para a precificação de contratos put na segunda análise, a volatilidade que gerou um melhor resultado foi o desvio padrão constante de R\$2,98, enquanto o valor real da opção foi de R\$3,00. Nas demais volatilidades, os prêmios não convergiram para valores aceitáveis, ficando próximos a zero, e portanto não foram considerados.

Em suma, operações com opções devem ser embasadas em estratégias, sendo uma delas a proteção do seu ativo (hedging). Para uma melhor assertividade é importante estar claro que o titular das opções possui menor risco pois as perdas são restritas ao prêmio, enquanto para o lançador podem ser ilimitadas, ou seja, se o comportamento do preço do ativo-objeto não estiver alinhado com a expectativa do lançador, a sua perda máxima é igual ao valor do preço de exercício ao vender opção de venda e ilimitada quando operar em venda de contratos de compra.

CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou apresentar uma visão geral sobre o mercado de derivativos e específica sobre os contratos de opções aplicados as commodities agrícolas, analisando em especial, o mercado do milho.

O prêmio ao fechar um contrato de opção call ou put é o valor no qual o investidor está pagando para que se abstenha do risco de variações de preço. Para realizar esse cálculo, existem métodos famosos tais quais o modelo binomial e o modelo de Black & Scholes. Este último, vista sua notória qualidade na precificação de opções foi o modelo escolhido para realizar as análises de precificação das opções.

Os parâmetros da volatilidade analisados através das diferentes formas de cálculo apresentadas no capítulo 2, mostraram que os métodos do desvio padrão, EWMA e GARCH apresentaram valores semelhantes na precificação do prêmio, sendo confirmado após a determinação da correlação entre o valor do ativo objeto e a volatilidade de cada método. Para as análises do capítulo 3 foi selecionado o modelo GARCH para precificação dos contratos call com um erro relativo de 0,65% em relação ao prêmio real da BM&F. Já para a precificação dos contratos put foi considerada o desvio padrão constante que apresentou um desvio de -0,66% em relação ao valor real. Logo, o prêmio obtido do modelo Black & Scholes é válido ficando bem próximo ao valor negociado no mercado, ressaltando que as análises são válidas e esse não é apenas um exercício teórico.

Os resultados mostraram que o mercado de opções é bastante favorável para se proteger contra variações de preços desde que utilizados da maneira correta. Para processadores interessados em se proteger da alta de preços, a melhor forma é a compra de contratos call, enquanto para agricultores a compra de contratos put é mais aconselhável contra a queda de preços. A opção de venda, por outro lado, possui um maior grau de risco, pois as perdas podem ser ilimitadas.

Assim, o objetivo desse estudo não é impor uma única forma de avaliar as estratégias de negociação através das opções, mas sim mostrar algumas possibilidades reais de investimento para minimizar o risco dos agentes contra variações de preço que possa colocar em crise seus negócios.

Um detalhe importante e que não pode ser ignorado é o fato de o modelo não levar em consideração variáveis subjetivas como política, variação do preço do dólar, crises mundiais e questões climáticas. Por isso, essas operações não devem ser tomadas como recomendação aos agentes do mercado antes de se conhecer o contexto econômico-financeiro no qual está sujeito o ativo-objeto.

BIBLIOGRAFIA

- ALBUQUERQUE FILHO, R.M. et al. **Cultivo do milho**. Embrapa Milho e Sorgo Versão Eletrônica - 6^a edição, 2010 . Disponível em:
<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/manejomilho.htm>. Acesso em: 20 ago. 2016
- BM&F BOVESPA a. **Mercado Futuro: Conceito e definições**. Instituto Educacional BM&F. São Paulo, 2007.
- BM&F BOVESPA b. **Mercados derivativos**. São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.economia.esalq.usp.br/~les202/Aula9/serie-introdutoria_mercados-derivativos.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2016
- BM&F BOVESPA. **Bolsa de Mercadorias e Futuros**. São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/mercado-de-balcao/derivativos/swap.htm>. Acesso em: 28 ago. 2016
- BRADESCO. **MILHO**. DEPEC – Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos. 2016. Disponível em: <www.economiaemdia.com.br>. Acesso em: 21 ago. 2016
- CALDARELLI, C. E.; BACCHI, M. R. P. **Fatores de influência no preço do milho no Brasil**. Revista Nova Economia, Belo Horizonte, v. 22, 2012.
- CALEGARI, I.P; BAIGORRI, M.C; FREIRE, F. DE S. **Os derivativos agrícolas como uma ferramenta de gestão do risco de preço**. Custos e @gronegócio on line - v. 8, Especial. Nov - 2012.
- CARRARA, A. F. **O mercado de balcão brasileiro: um estudo sobre as características e a regulamentação**. Dissertação de Mestrado ESALQ/USP, Piracicaba, 2013.
- CEPEA. **CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - ESALQ/USP**. Disponível em:
<http://www.cepea.esalq.usp.br/agromensal/2015/12_dezembro/Milho.htm> Acesso em: 26 ago. 2016

- CETIP. **Central de custódia e liquidação financeira de títulos**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_tematicas/Credito/1RO/App_Proteção_Preços.pdf> Acesso em: 22 out. 2016.
- CME GROUP. **Produtos de commodities. Guia autodidático para hedge com futuros e opções de grãos e sementes oleaginosas**. Chicago. 2009.
- FARHI, M. **Derivativos financeiros: hedge, especulação e arbitragem**. Economia e Sociedade. Campinas, 1999.
- FARMLOGICS. **FARMNEWS**. Disponível em: <<http://www.farmlogics.com.br/blog/analises-mercado/exportacao-de-milho/>>. Acesso em: 01 out. 2016.
- FAVRO, J; CALDARELLI, C.E; CAMARA, M.R.G. **Modelo de Análise da Oferta de Exportação de Milho Brasileira: 2001 a 2012**. Rev. Econ. Sociol. Rural vol.53 no.3. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032015000300455#B13>. Acesso em: 20 ago. 2016.
- FREITAS, M; MIRANDA, R. A.; GARCIA, J. C. **Análise da evolução dos preços de milho no Brasil**. Associação Brasileira de Milho e Sorgo. Maringá, 2015.
- GOBIRA, D. B. **Precificação de derivativos exóticos no mercado de petróleo**. IMPA. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro. 2014.
- HULL, J. C. **Options, Futures, and other Derivatives**. 8 ed. Prentice Hall. New Jersey, 2012
- IMEA. **Workshop jornalismo agropecuário – uma oportunidade para sua carreira. Entendendo o mercado de milho**. Instituto Matogrossense de Economia Agropecuária. Mato Grosso, 2015.
- IMF. **International Monetary Fund**. Markets: Exchange or Over-the-Counter. Março, 2012. Disponível em: <<http://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/basics/markets.htm>>. Acesso em: 22 out. 2016
- KOLB, R. W.; OVERDAHL, J. A. **Financial Derivatives**. 3 ed. Wiley finance. New Jersey, 2003.

- LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. **Teoria e aplicações usando Microsoft Excel em português**. LTC. Rio de Janeiro. 2000.
- NEDER, H. D. **Introdução aos Modelos ARCH**. Uberlândia. 2014
- Nobelprize.org. **Nobel Media AB 2014 Web**. Disponível em:
<http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/economic-sciences/laureates/1997/scholes-photo.html> Acesso em: 04 set. 2016
- PORTAL DO INVESTIDOR: **Entendendo o mercado de valores mobiliários**. Disponível em:
<http://www.portaldoinvestidor.gov.br/menu/primeiros_passos/Entendendo_mercado_valores.html> Acesso em 29 out. 2016.
- SCHOUCHANA, F. **Introdução aos mercados futuros e opções agropecuários no Brasil**. 3. ed. rev. atual. São Paulo: Bolsa de Mercadorias & Futuros, 2004.
- SEPULCRI, O. **Gestão do Risco na Agricultura**. Disponível em:
<http://www.emater.pr.gov.br/arquivos/File/Biblioteca_Virtual/Premio_Extensao_Rural/2_Premio_ER/18_Gestao_Risco_Agric.pdf> Acesso em: 31 out. 2016.
- SILVA NETO, L. A. **Derivativos**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- SILVA NETO, L. A. **Opções – do tradicional ao exótico**. 2 ed. São Paulo : Atlas, 1996.
- SILVA, W. V. et. al. **Aplicação da métrica value at risk a índices de bolsas de valores de países latino-americanos: um estudo utilizando os modelos de previsão de volatilidade EWMA, EQMA e GARCH**. Perspectiva, v. 34, n. 126, p. 19-32. Erechim. 2010.
- SNA – **Sociedade Nacional de Agricultura**. Disponível em: <<http://sna.agr.br/brasil-fatura-us-4-9-bilhoes-com-exportacoes-de-milho-em-2015/>> Acesso em: 18 out. 2016.
- SONAGLIO, C. M.; SILVA, V. A. **ESTRATÉGIA DE HEDGE ATRAVÉS DE CONTRATOS FUTUROS DE SOJA NA BM&FBOVESPA**. 48º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia Administração e Sociologia Rural. Campo Grande, 2010.
- SOUZA, E. L. L.; AZEVEDO, P. F.; SAES, M. S. M. **Competitividade do sistema agroindustrial do milho**. Pensa-lpea, 1998

TOLEDO FILHO, J. R.; CARDOSO, A. F.; SANTOS, C. C. **Custo e benefícios dos derivativos agropecuários: utilização de butterfly de put no incremento do resultado em contratos de café.** Custos e @gronegócio on line, 5 (3), 2010.

TOP DERIVATIVOS. **Mercado de derivativos no Brasil: Conceitos, produtos e operações.** BM&FBovespa - CVM, 1 ed. Rio de Janeiro, 2015.

TSAY, R. S. **Analysis of Financial Time Series.** Wiley Series In Probability and Statistics. 2. ed. New Jersey, 2005.

U.S.D.A. **UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE.** Disponível em: <<http://www.usda.gov/>> Acesso em: Diversas consultas

WIKIPEDIA. **Wikipedia the free enciplopedia.** Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/Probability_distribution> Acesso em: 02 out. 2016

ANEXO I – CONTRATO DE OPÇÃO DE COMPRA SOBRE MILHO



Contrato de Opção de Compra sobre Futuro de Milho com Liquidação Financeira – Especificações –

1. Definições

- Contrato (especificações):** termos e regras sob os quais as operações serão realizadas e liquidadas.
- Contrato negociado:** lote (unidade de negociação) negociado sob os termos e as regras destas especificações.
- Compra de um contrato:** operação em que o participante é titular, ou seja, tem o direito de comprar o objeto da opção pelo preço de exercício.
- Venda de um contrato:** operação em que o participante é lançador, ou seja, se exercido pelo titular tem a obrigação de vender o objeto da opção pelo preço de exercício.
- Série:** conjunto de características do contrato de opção que determina data de vencimento e preço de exercício.
- Taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA:** taxa de câmbio de reais por dólar dos Estados Unidos da América descrita no Anexo III do Ofício Circular 058/2002-DG, de 19 de abril de 2002.
- PTAX:** taxa de câmbio de reais por dólar dos Estados Unidos da América, cotação de venda, negociada no mercado de câmbio, para entrega pronta, contratada nos termos da Resolução 3.265/2005, do Conselho Monetário Nacional (CMN), apurada e divulgada pelo Banco Central do Brasil (Bacen), por intermédio do Sisbacen, transação PTAX800, opção "5", cotação de fechamento, para liquidação em dois dias, a ser utilizada com, no máximo, seis casas decimais, também divulgada pelo Bacen com a denominação de Fechamento PTAX, conforme Comunicado 10.742 do Bacen, de 17 de fevereiro de 2003.
- Dia útil:** dia em que ocorre pregão na BM&FBOVESPA.

2. Objeto da opção

O Contrato Futuro de Milho com Liquidação Financeira negociado na BM&FBOVESPA, cujo vencimento coincida com o mês de vencimento da opção.

3. Cotação

Prêmio da opção, expresso em reais por saca de 60 quilos líquidos, com duas casas decimais.

4. Variação mínima de apregoação

R\$0,01 (um centavo de real) por saca de 60 quilos líquidos.

5. Oscilação máxima diária

Não há limites de oscilação para o prêmio das opções, podendo a Bolsa, a qualquer tempo, estabelecê-los, mesmo no decurso do pregão.

6. Unidade de negociação

Cada opção refere-se a um Contrato Futuro de Milho com Liquidação Financeira, cuja unidade de negociação corresponde a 450 sacas de 60 quilos líquidos.

7. Preços de exercício

Os preços de exercício serão estabelecidos e divulgados pela BM&FBOVESPA, expressos em reais por saca de 60 quilos líquidos.

8. Meses de vencimento

Janeiro, março, maio, julho, agosto, setembro e novembro.

9. Número de vencimentos em aberto

Conforme autorização da BM&FBOVESPA.

10. Data de vencimento e último dia de negociação

Dia 15 do mês de vencimento, quando não se admitirão abertura de novas posições e operações day trade. Se nesse dia for feriado ou não for dia de pregão na BM&FBOVESPA, a data de vencimento será o dia útil subsequente.

12. Dia útil

Considera-se dia útil, para efeito deste contrato, o dia em que há pregão na BM&FBOVESPA. Entretanto, para efeito de liquidação financeira, a que se referem os itens 12, 13 e 19, considerar-se-á dia útil o dia que, além de haver pregão na BM&FBOVESPA, não for feriado bancário na praça de Nova Iorque, Estados Unidos da América.

12. Day trade

São admitidas operações *day trade* (compra e venda, no mesmo dia de pregão, da mesma quantidade de contratos da mesma série), que se liquidarão automaticamente, desde que realizadas em nome do mesmo cliente, por intermédio da mesma Corretora membro e sob a responsabilidade do mesmo Membro de Compensação, ou realizadas pelo mesmo Operador Especial, sob a responsabilidade do mesmo Membro de Compensação. A liquidação financeira dessas operações será realizada no dia útil subsequente, sendo os valores apurados de acordo com o item 13, observado, no que couber, o disposto no item 20.

13. Liquidação financeira do prêmio

Pagamentos e recebimentos de prêmios serão efetuados no dia útil seguinte ao de realização da operação, observado, no que couber, o disposto no item 20, com os valores apurados conforme a seguinte fórmula:

$$VLP = P \times 450$$

onde:

VLP = valor de liquidação do prêmio por contrato, em reais;
P = cotação negociada (prêmio da opção), em reais.

14. Tipo da opção

A opção é do modelo americano, isto é, poderá ser exercida pelo titular a partir do dia útil seguinte à data de abertura da posição até a data de vencimento, inclusive. Na data de vencimento, serão exercidas automaticamente sempre que o preço de liquidação financeira do contrato futuro-objeto (definido no item 13.1 do Contrato Futuro de Milho com Liquidação Financeira) for superior ao preço de exercício e não houver solicitação de não-exercício pelo titular (bloqueio de exercício). Os resultados financeiros decorrentes do exercício serão movimentados no dia útil subsequente.

15. Exercício da opção

No exercício das opções, o titular assume uma posição comprada no Contrato Futuro de Milho com Liquidação Financeira e o lançador assume uma posição vendida no Contrato Futuro de Milho com Liquidação Financeira, ambas pelo preço de exercício da opção. Imediatamente após o exercício, aplicar-se-ão ao comprador e ao vendedor todas as exigências estabelecidas no Contrato Futuro de Milho com Liquidação Financeira, objeto da opção, inclusive aquelas relativas aos requerimentos de margem de garantia, à liquidação de ajustes e à liquidação no vencimento.

16. Hedgers

Produtores, cooperativas, cerealistas, indústrias processadoras de milho, suinocultores, avicultores, pecuaristas, importadores, exportadores, bem como fornecedores de insumos, máquinas e equipamentos.

17. Margem de garantia para o lançador

Será exigida margem de garantia de todos os comitentes com posição em aberto, cujo valor será atualizado. Será exigida margem de garantia de todos os lançadores, cujo valor será apurado segundo a metodologia divulgada pela BM&FBOVESPA, podendo ser atualizado diariamente. A margem será devida no dia útil subsequente. No caso de clientes não-residentes, se o dia útil subsequente for feriado bancário em Nova Iorque, a margem será devida no primeiro dia, após o de abertura da posição, em que não for feriado bancário naquela praça. A conversão dos valores de margem, quando necessária, será realizada observando-se, no que couber, o disposto no item 20.

18. Ativos aceitos como margem

Aqueles aceitos pela Bolsa.

19. Custos operacionais

19.1 Taxas da Bolsa

Taxas de emolumentos e de registro, apurados conforme cálculo estabelecido pela Bolsa.

19.2 Datas de pagamento

As taxas de emolumentos e de registro serão devidas no dia útil seguinte ao de sua apuração, observado, no que couber, o disposto no item 20.

20. 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*, do prêmio e dos custos operacionais, bem como a conversão dos valores de margem de garantia, será realizada conforme determinado a seguir.

20.1 Clientes residentes

Em reais, de acordo com os procedimentos estabelecidos pela Câmara de Registro, Compensação e Liquidação de Operações de Derivativos da BM&FBOVESPA.

20.2 Clientes não-residentes

Em dólares dos Estados Unidos da América, na praça de Nova Iorque, EUA, por meio dos bancos liquidantes das operações da BM&FBOVESPA no Exterior, por ela indicados.

A conversão dos valores financeiros, quando for o caso, será feita pela taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA, definida no item 1 e relativa a uma data específica, conforme a natureza do valor a ser liquidado, a saber:

- a) na liquidação de operações *day trade*: a taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA do dia da operação;
- b) na liquidação das operações do prêmio: a taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA do dia da operação;
- c) na conversão dos valores de margem de garantia depositados em dólares dos Estados Unidos da América: a taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA do dia da operação.

Já a conversão dos valores relacionados aos custos operacionais, quando for o caso, será feita pela PTAX, definida no item 1.

21. Normas complementares

Fazem parte integrante deste contrato, no que couber, a legislação em vigor, as normas e os procedimentos da BM&FBOVESPA, definidos em seus Estatuto Social, Regulamento de Operações e Ofícios Circulares, observadas, adicionalmente, as regras específicas das autoridades governamentais que possam afetar os termos nele contidos.

OFÍCIO CIRCULAR 047/2008-DP, DE 11/09/2008

ANEXO II – CONTRATO DE OPÇÃO DE VENDA SOBRE MILHO



Contrato de Opção de Venda sobre Futuro de Milho com Liquidação Financeira – Especificações –

1. **Definições**
 - Contrato (especificações): termos e regras sob os quais as operações serão realizadas e liquidadas.
 - Contrato negociado: lote (unidade de negociação) negociado sob os termos e as regras destas especificações.
 - Compra de um contrato: operação em que o participante é titular, ou seja, tem o direito de vender o objeto da opção pelo preço de exercício.
 - Venda de um contrato: operação em que o participante é lançador, ou seja, se exercido pelo titular tem a obrigação de comprar o objeto da opção pelo preço de exercício.
 - Série: conjunto de características do contrato de opção que determina data de vencimento e preço de exercício.
 - Taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA: taxa de câmbio de reais por dólar dos Estados Unidos da América descrita no Anexo III do Ofício Circular 058/2002-DG, de 19 de abril de 2002.
 - PTAX: taxa de câmbio de reais por dólar dos Estados Unidos da América, cotação de venda, negociada no mercado de câmbio, para entrega pronta, contratada nos termos da Resolução 3.265/2005, do Conselho Monetário Nacional (CMN), apurada e divulgada pelo Banco Central do Brasil (Bacen), por intermédio do Sisbacen, transação PTAX800, opção "5", cotação de fechamento, para liquidação em dois dias, a ser utilizada com, no máximo, seis casas decimais, também divulgada pelo Bacen com a denominação de Fechamento PTAX, conforme Comunicado 10.742 do Bacen, de 17 de fevereiro de 2003.
 - Dia útil: dia em que ocorre pregão na BM&FBOVESPA.
2. **Objeto da opção**

O Contrato Futuro de Milho com Liquidação Financeira negociado na BM&FBOVESPA, cujo vencimento coincida com o mês de vencimento da opção.
3. **Cotação**

Prêmio da opção, expresso em reais por saca de 60 quilos líquidos, com duas casas decimais.
4. **Variação mínima de apregoação**

R\$0,01 (um centavo de real) por saca de 60 quilos líquidos.
5. **Oscilação máxima diária**

Não há limites de oscilação para o prêmio das opções, podendo a Bolsa, a qualquer tempo, estabelecê-los, mesmo no decurso do pregão.
6. **Unidade de negociação**

Cada opção refere-se a um Contrato Futuro de Milho com Liquidação Financeira, cuja unidade de negociação corresponde a 450 sacas de 60 quilos líquidos.
7. **Preços de exercício**

Os preços de exercício serão estabelecidos e divulgados pela BM&FBOVESPA, expressos em reais por saca de 60 quilos líquidos.
8. **Meses de vencimento**

Janeiro, março, maio, julho, agosto, setembro e novembro.
9. **Número de vencimentos em aberto**

Conforme autorização da BM&FBOVESPA.
10. **Data de vencimento e último dia de negociação**

Dia 15 do mês de vencimento, quando não se admitirão abertura de novas posições e operações day trade. Se nesse dia for feriado ou não for dia de pregão na BM&FBOVESPA, a data de vencimento será o dia útil subsequente.
12. **Dia útil**

Considera-se dia útil, para efeito deste contrato, o dia em que há pregão na BM&FBOVESPA. Entretanto, para efeito de liquidação financeira, a que se referem os itens 12, 13 e 19, considerar-se-á dia útil o dia que, além de haver pregão na BM&FBOVESPA, não for feriado bancário na praça de Nova Iorque, Estados Unidos da América.

12. Day trade

São admitidas operações *day trade* (compra e venda, no mesmo dia de pregão, da mesma quantidade de contratos da mesma série), que se liquidarão automaticamente, desde que realizadas em nome do mesmo cliente, por intermédio da mesma Corretora membro e sob a responsabilidade do mesmo Membro de Compensação, ou realizadas pelo mesmo Operador Especial, sob a responsabilidade do mesmo Membro de Compensação. A liquidação financeira dessas operações será realizada no dia útil subsequente, sendo os valores apurados de acordo com o item 13, observado, no que couber, o disposto no item 20.

13. Liquidação financeira do prêmio

Pagamentos e recebimentos de prêmios serão efetuados no dia útil seguinte ao de realização da operação, observado, no que couber, o disposto no item 20, com os valores apurados conforme a seguinte fórmula:

$$VLP = P \times 450$$

onde:

VLP = valor de liquidação do prêmio por contrato, em reais;
P = cotação negociada (prêmio da opção), em reais.

14. Tipo da opção

A opção é do modelo americano, isto é, poderá ser exercida pelo titular a partir do dia útil seguinte à data de abertura da posição até a data de vencimento, inclusive. Na data de vencimento, serão exercidas automaticamente sempre que o preço de liquidação financeira do contrato futuro-objeto (definido no item 13.1 do Contrato Futuro de Milho com Liquidação Financeira) for inferior ao preço de exercício e não houver solicitação de não-exercício pelo titular (bloqueio de exercício).

Os resultados financeiros decorrentes do exercício serão movimentados no dia útil subsequente.

15. Exercício da opção

No exercício das opções, o titular assume uma posição vendida no Contrato Futuro de Milho com Liquidação Financeira e o lançador assume uma posição comprada no Contrato Futuro de Milho com Liquidação Financeira, ambas pelo preço de exercício da opção. Imediatamente após o exercício, aplicar-se-ão ao comprador e ao vendedor todas as exigências estabelecidas no Contrato Futuro de Milho com Liquidação Financeira, inclusive aquelas relativas aos requerimentos de margem de garantia, à liquidação de ajustes e à liquidação no vencimento.

16. Hedgers

Produtores, cooperativas, cerealistas, indústrias processadoras de milho, suinocultores, avicultores, pecuaristas, importadores, exportadores, bem como fornecedores de insumos, máquinas e equipamentos.

17. Margem de garantia para o lançador

Será exigida margem de garantia de todos os comitentes com posição em aberto, cujo valor será atualizado. Será exigida margem de garantia de todos os lançadores, cujo valor será apurado segundo a metodologia divulgada pela BM&FBOVESPA, podendo ser atualizado diariamente. A margem será devida no dia útil subsequente. No caso de clientes não-residentes, se o dia útil subsequente for feriado bancário em Nova Iorque, a margem será devida no primeiro dia, após o de abertura da posição, em que não for feriado bancário naquela praça. A conversão dos valores de margem, quando necessária, será realizada observando-se, no que couber, o disposto no item 20.

18. Ativos aceitos como margem

Aqueles aceitos pela Bolsa.

19. Custos operacionais

19.1 Taxas da Bolsa

Taxas de emolumentos e de registro, apurados conforme cálculo estabelecido pela Bolsa.

19.2 Datas de pagamento

As taxas de emolumentos e de registro serão devidas no dia útil seguinte ao de sua apuração, observado, no que couber, o disposto no item 20.

20. 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*, do prêmio e dos custos operacionais, bem como a conversão dos valores de margem de garantia, será realizada conforme determinado a seguir.

20.1 Clientes residentes

Em reais, de acordo com os procedimentos estabelecidos pela Câmara de Registro, Compensação e Liquidação de Operações de Derivativos da BM&FBOVESPA.

20.2 Clientes não-residentes

Em dólares dos Estados Unidos da América, na praça de Nova Iorque, EUA, por meio dos bancos liquidantes das operações da BM&FBOVESPA no Exterior, por ela indicados.

A conversão dos valores financeiros, quando for o caso, será feita pela taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA, definida no item 1 e relativa a uma data específica, conforme a natureza do valor a ser liquidado, a saber:

- a) na liquidação de operações *day trade*: a taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA do dia da operação;
- b) na liquidação das operações do prêmio: a taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA do dia da operação;
- c) na conversão dos valores de margem de garantia depositados em dólares dos Estados Unidos da América: a taxa de câmbio referencial BM&FBOVESPA do dia da operação.

Já a conversão dos valores relacionados aos custos operacionais, quando for o caso, será feita pela PTAX, definida no item 1.

21. Normas complementares

Fazem parte integrante deste contrato, no que couber, a legislação em vigor, as normas e os procedimentos da BM&FBOVESPA, definidos em seus Estatuto Social, Regulamento de Operações e Ofícios Circulares, observadas, adicionalmente, as regras específicas das autoridades governamentais que possam afetar os termos nele contidos.

OFÍCIO CIRCULAR 047/2008-DP, DE 11/09/2008

ANEXO III – PROGRAMA EM MATLAB

```
%Mayara Giacon Pegoraro
%RA 49072
%PECE-POLI - MBA Matematica Financeira

close all
clear all
clc
format long;

c= xlsread('CCMU16-2.xls'); % Lê os dados do Anexo (valor de fechamento do
milho vencimento 15/09/2016)

d_rest=c(:,1); %dias restantes para o vencimento
val=c(:,2); %valor do ativo-objeto
k=35; %Preco de exercício
r=0.1415; %Taxa livre de riscos(annual)
lambda=0.95; %Coeficiente lambda utilizado para o cálculo da
Volatilidade EWMA

%Cálculo da variação logarítmica entre os preços
var_ln=[];
var_ln(1)=0;% Não é possível calcular a variação pois ainda é o primeiro
valor
for i=2:1:size(val)
    var_ln=[var_ln;log(val(i)/val(i-1))];
end

% Cálculo desvio padrao variável

desvpad=[];

Z=[];

for i=1:1:size(val)
    if i<10
        if i==1
            Y= [var_ln(i)];
            Z(i)=std(Y,1);%desvio padrão da variação ln
            desvpad=[desvpad;Z(i)];
        elseif i==2;
            Y= [var_ln(i),var_ln(i-1)];
            Z(i)=std(Y,1);
            desvpad=[desvpad;Z(i)];
        elseif i==3;
            Y= [var_ln(i),var_ln(i-1), var_ln(i-2)];
            Z(i)=std(Y,1);
```

```

        desvpad=[desvpad;Z(i)];
    elseif i==4;
        Y= [var_ln(i),var_ln(i-1), var_ln(i-2),var_ln(i-3)];
        Z(i)=std(Y,1);
        desvpad=[desvpad;Z(i)];
    elseif i==5;
        Y= [var_ln(i),var_ln(i-1), var_ln(i-2),var_ln(i-
3),var_ln(i-4)];
        Z(i)=std(Y,1);
        desvpad=[desvpad;Z(i)];
    elseif i==6;
        Y= [var_ln(i),var_ln(i-1), var_ln(i-2),var_ln(i-
3),var_ln(i-4),var_ln(i-5)];
        Z(i)=std(Y,1);
        desvpad=[desvpad;Z(i)];
    elseif i==7;
        Y= [var_ln(i),var_ln(i-1), var_ln(i-2),var_ln(i-
3),var_ln(i-4),var_ln(i-5),var_ln(i-6)];
        Z(i)=std(Y,1);
        desvpad=[desvpad;Z(i)];
    elseif i==8;
        Y= [var_ln(i),var_ln(i-1), var_ln(i-2),var_ln(i-
3),var_ln(i-4),var_ln(i-5),var_ln(i-6),var_ln(i-7)];
        Z(i)=std(Y,1);
        desvpad=[desvpad;Z(i)];
    elseif i==9;
        Y= [var_ln(i),var_ln(i-1), var_ln(i-2),var_ln(i-
3),var_ln(i-4),var_ln(i-5),var_ln(i-6),var_ln(i-7),var_ln(i-8)];
        Z(i)=std(Y,1);
        desvpad=[desvpad;Z(i)];
    end

    elseif i>9
        Y= [var_ln(i),var_ln(i-1),var_ln(i-2), var_ln(i-3),
var_ln(i-4), var_ln(i-5), var_ln(i-6), var_ln(i-7), var_ln(i-8), var_ln(i-
9)];
        Z(i)=std(Y,1);
        desvpad=[desvpad;Z(i)];

    end

end

%Calculo EWMA

ewma=[];

for i=1:1:size(val,1)
    if i>2
        ewma=[ewma;sqrt(ewma(i-1)^2*lambda+var_ln(i)^2*(1-lambda))];

    elseif i==2
        ewma=[ewma;desvpad(i)]; %primeiro valor começa com o valor do desvio
padrão

    elseif i<2
        ewma=[ewma;0]; %primeiros casos valor é igual a zero
    end
end

```

```
% Cálculo GARCH
```

```
garch=[];
vol_garch=[];
V=6.6787e-07;beta=1;alpha=1.6121e-22;% valores calculados a partir da
função garchfit
for i=1:1:size(val,1)
    if i<=2
        garch=[garch;0];
        vol_garch=[vol_garch;0];

    elseif i>2
        garch=[garch;V+alpha*(var_ln(i-1)^2)+garch(i-1)*beta];
        vol_garch=[vol_garch;sqrt(garch(i))];
    end
end
```

```
% Cálculo Black and Scholes com desvio padrao constante
```

```
desvpad_cte=std(var_ln)*sqrt(252);

C_dpc=[];%Call para desvio padrao constante
P_dpc=[];%Put para desvio padrao constante

for i=1:1:size(val,1)

da(i)=((log(val(i)/k)+(r+desvpad_cte^2/2)*(d_rest(i)/252))/(desvpad_cte*sqrt(d_rest(i)/252)));
db(i)=da(i)-desvpad_cte*sqrt(d_rest(i)/252);
ND1=normcdf(da(i));
ND2=normcdf(db(i));
C_dpc=[C_dpc;val(i)*ND1-(k/((1+r)^(d_rest(i)/252))*ND2];%Call
P_dpc=[P_dpc;C_dpc(i)-
val(i)/((1+r)^(d_rest(i)/252))+(k/((1+r)^(d_rest(i)/252)))];%Put
end
```

```
%Cálculo Black and Scholes com ewma
```

```
C_ewma=[];%Call para ewma
P_ewma=[];%Put para ewma
dp_ewma=ewma*sqrt(252);
for i=1:1:size(val,1)
    if i>2

da(i)=((log(val(i)/k)+(r+dp_ewma(i)^2/2)*(d_rest(i)/252))/(dp_ewma(i)*sqrt(d_rest(i)/252)));
db(i)=da(i)-dp_ewma(i)*sqrt(d_rest(i)/252);
ND1=normcdf(da(i));
ND2=normcdf(db(i));
C_ewma=[C_ewma;(val(i)/((1+r)^(d_rest(i)/252)))*ND1-
(k/((1+r)^(d_rest(i)/252))*ND2];
P_ewma=[P_ewma;C_ewma(i)-
val(i)/((1+r)^(d_rest(i)/252))+(k/((1+r)^(d_rest(i)/252)))];
```

```

elseif i<=2 %primeiros dois itens são iguais a zero
    da(i)=0;
    db(i)=0;
    ND1=0;
    ND2=0;
    C_ewma=[C_ewma;0];
    P_ewma=[P_ewma;0];
end
end

%Cálculo Black and Scholes com desvio padrao variável

C_dpv=[];%Call para desvio padrao variavel
P_dpv=[];%Put para desvio padrao variavel
dpv_var=desvpad*sqrt(252);
for i=1:1:size(val,1)
    if i>2

da(i)=((log(val(i)/k)+(r+dpv_var(i)^2/2)*(d_rest(i)/252))/(dpv_var(i)*sqrt(
d_rest(i)/252)));
        db(i)=da(i)-dpv_var(i)*sqrt(d_rest(i)/252);
        ND1=normcdf(da(i));
        ND2=normcdf(db(i));
        C_dpv=[C_dpv;(val(i)/((1+r)^(d_rest(i)/252)))*ND1-
(k/((1+r)^(d_rest(i)/252)))*ND2];
        P_dpv=[P_dpv;C_dpv(i)-
val(i)/((1+r)^(d_rest(i)/252))+(k/((1+r)^(d_rest(i)/252)))];
    elseif i<3
        da(i)=0;
        db(i)=0;
        ND1=normcdf(da(i));
        ND2=normcdf(db(i));
        C_dpv=[C_dpv;0];
        P_dpv=[P_dpv;0];
    end
end

%Cálculo Black and Scholes utilizando GARCH

C_garch=[];%Call utilizando GARCH
P_garch=[];%Put utilizando GARCH
dp_garch=vol_garch*sqrt(252);
for i=1:1:size(val,1)
    if i>2

da(i)=((log(val(i)/k)+(r+(dp_garch(i)^2)/2)*(d_rest(i)/252))/(dp_garch(i)*s
qrt(d_rest(i)/252)));
        db(i)=da(i)-dp_garch(i)*sqrt(d_rest(i)/252);
        ND1=normcdf(da(i));
        ND2=normcdf(db(i));
        C_garch=[C_garch;(val(i)/((1+r)^(d_rest(i)/252)))*ND1-
(k/((1+r)^(d_rest(i)/252)))*ND2];
        P_garch=[P_garch;C_garch(i)-
val(i)/((1+r)^(d_rest(i)/252))+(k/((1+r)^(d_rest(i)/252)))];
    elseif i<=3

```



```

        da(i)=0;
        db(i)=0;
        ND1=normcdf(da(i));
        ND2=normcdf(db(i));
        C_garch=[C_garch;0];
        P_garch=[P_garch;0];
    end

end

%Plota o Gráfico diferentes volatilidades
i=1:1:size(val,1);
plot(i,C_garch,i,C_ewma,i,C_dpv,i,C_dpc,i,val)
xlabel('Dias restantes para o vencimento')
ylabel('Prêmio em R$')
title('Prêmio de Call para diferentes volatilidades')
legend('GARCH','EWMA','Desvio padrão Variável','Desvio padrão Cte','Valor Ativo-Objeto')

%Plota o Gráfico GARCH
i=1:1:size(val,1);
plot(i,C_garch)
xlabel('Dias restantes para o vencimento')
ylabel('Prêmio em R$')
title('Prêmio de Call para GARCH')
legend('GARCH')

%Plota o Gráfico EWMA
i=1:1:size(val,1);
plot(i,C_ewma)
xlabel('Dias restantes para o vencimento')
ylabel('Prêmio em R$')
title('Prêmio de Call para EWMA')
legend('EWMA')

%Plota o Gráfico Desvio Padrao cte
i=1:1:size(val,1);
plot(i,C_dpc)
xlabel('Dias restantes para o vencimento')
ylabel('Prêmio em R$')
title('Prêmio de Call para Desvio Padrão Constante')
legend('Desvio Padrão Cte.')

%Plota o Gráfico Desvio Padrao Móvel
i=1:1:size(val,1);
plot(i,C_dpv)
xlabel('Dias restantes para o vencimento')
ylabel('Prêmio em R$')
title('Prêmio de Call para Desvio Padrão Móvel')
legend('Desvio Padrão Móvel')

%Cálculo das correlações
corr_ewma=corrcoef(val,C_ewma);corr_ewma(2)
corr_garch=corrcoef(val,C_garch);corr_garch(2)
corr_dpc=corrcoef(val,C_dpc);corr_dpc(2)
corr_dpv=corrcoef(val,C_dpv);corr_dpv(2)

```