

A FÓRMULA DE BLACK PRECIFICA CORRETAMENTE AS OPÇÕES DE COMPRA SOBRE FUTUROS AGROPECUÁRIOS NO BRASIL? UMA APLICAÇÃO PARA O CASO DO CAFÉ ARÁBICA

Alexandre Bragança Coelho¹

Sylvia Cassimiro Pinheiro²

Flávia Villela Ferreira³

Resumo: o aumento da importância dos instrumentos privados de gestão de risco na agricultura brasileira, especialmente os mercados futuros, torna essencial determinar a eficácia de instrumentos de precificação que auxiliem os agentes do agronegócio a operarem nos mercados futuros do país. O objetivo deste trabalho foi assim de avaliar se a Fórmula de Black precifica corretamente as opções de compra sobre futuros agropecuários de café arábica da BM&F. Os resultados mostram que o desempenho do Modelo de Black é adequado apenas para opções forado-dinheiro, e somente utilizando-se a volatilidade implícita como medida da variabilidade dos preços dos contratos futuros.

Palavras-chave - opções sobre futuros, Fórmula de Black, café arábica, mercados futuros agropecuários

BLACK'S FORMULA CORRECTLY PRICES AGRICULTURAL FUTURES CALL OPTIONS IN BRAZIL? AN APPLICATION FOR COFFEE FUTURES CALL OPTIONS

Abstract: *the growing importance of private risk management instruments in Brazilian agricultural sector, specially future markets, make it essential to determine the accuracy of pricing mechanisms that help agents to operate in those markets. The objective of this paper was to evaluate if the Black's Formula correctly prices coffee futures call options. Results show that the Black model performance is good only for out-of-money calls and only if implied volatility is used as a variability price measure of coffee futures prices.*

Key-words: *futures options, Black Model, coffee, agricultural futures markets*

JEL Classification: *G13, Q14*

1 – Introdução

A atividade agrícola sempre apresentou uma peculiaridade quando comparada às demais atividades econômicas: o risco de preço elevado. Ao plantar seu produto, o agricultor apresenta grande incerteza em relação ao preço que irá

Recebido em 19/08/2008. Liberado para publicação em 15/02/2009.

¹ Professor Adjunto - Departamento de Economia Rural da Universidade Federal de Viçosa.

Email: acoelho@ufv.br

² Graduanda em Gestão do Agronegócio na UFV. E-mail: sylvia.cassimiro@hotmail.com

³ Graduanda em Gestão do Agronegócio na UFV. E-mail: fvillelaf@hotmail.com

receber na colheita, que ocorre geralmente muitos meses depois do plantio. Historicamente, o governo procurou apoiar os agricultores com instrumentos que minimizavam estes riscos. O exemplo mais marcante é a Política de garantia de preços mínimos (PGPM), que assegurava um preço mínimo ao agricultor, permitindo um melhor planejamento e diminuindo os riscos da atividade. Esta política foi a mais importante nas décadas de 70 e 80 no país. No final da década de 80 e início da década de 90, a abertura econômica e os problemas fiscais do Estado determinaram uma mudança na política agrícola do país. De acordo com Conceição (2006), citando Coelho (2001), houve reformulação dos mecanismos de suporte aos produtores com o objetivo de reduzir a presença do Estado na comercialização e facilitar o alinhamento da política doméstica ao mercado internacional. Novos instrumentos de política agrícola foram criados, destacando-se os contratos de opção e o programa de escoamento da produção (PEP).

Dado esse quadro de diminuição da intervenção governamental, a partir da década de 90 ganham importância as políticas privadas de gestão de risco, especialmente os mercados futuros agropecuários. Este mercado já havia sido estimulado com a fusão da Bolsa de Mercadorias de São Paulo (BMSP) e a Bolsa Mercantil e de Futuros em 1991, que criou a Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F). A BM&F passou a negociar derivativos financeiros e agrícolas, tornando-se o principal centro de gestão privada de risco do país. Dentre os derivativos agrícolas, pode-se destacar os contratos de opção sobre futuros.

Um contrato de opção sobre futuros funciona da seguinte forma: o comprador de uma opção de compra (*call*) paga uma quantia (conhecida como prêmio) para ter o direito (e não a obrigação) de assumir uma posição comprada no mercado futuro ao preço especificado no contrato (preço de exercício). O vendedor (ou lançador) da opção recebe o prêmio, mas tem a obrigação, caso a opção seja exercida, de assumir uma posição vendida no mercado futuro a um preço de exercício determinado. Para opções de venda (*put*), a lógica é a mesma: o comprador tem o direito de “entrar vendido” no mercado futuro e o vendedor tem a obrigação de “entrar comprado” em um contrato futuro. Os contratos de opção sobre futuros são muitas vezes preferidos pelos investidores em relação às opções sobre os ativos subjacentes. Segundo Hull (1998), isto ocorre quando é mais barato ou mais conveniente entregar contratos futuros do ativo em vez do ativo propriamente dito. Além disso, a maior parte das opções sobre futuros que é exercida não resulta na entrega do ativo objeto, pois na maioria das vezes a posição com futuros é encerrada por diferença antes da entrega. Além disso, Hull (1998) ressalta que frequentemente os custos de transação na negociação das opções sobre futuros são menores do que as opções sobre os ativos físicos.

Tabela 1 – Opções sobre futuros agropecuários negociadas na BM&F - 1998-2007

Ano	Café	Boi	Alcool	Milho	Soja	Total
1998	19,024	308	-	122	82	19,536
1999	47,774	3,188	-	36	25	51,023
2000	9,178	918	-	-	-	10,096
2001	13,948	1,204	-	-	-	15,152
2002	37,409	-	-	-	-	37,409
2003	38,566	806	-	-	-	39,372
2004	53,354	552	150	-	-	54,056
2005	24,003	71	-	-	-	24,074
2006	32,972	1,238	-	3,294	1,345	38,849
2007	83,967	6,255	-	1,141	7,925	99,288

Fonte: BM&F (2008)

Comparando os instrumentos de gestão privada de riscos, as vantagens das opções sobre futuros sobre os contratos futuros propriamente ditos são de dois tipos. Em primeiro lugar, os contratos de opção não requerem aportes financeiros constantes dos participantes. O comprador da opção não necessita depositar margem de garantia nem está sujeito a chamadas de margem. O único desembolso ocorre no pagamento da opção (o prêmio). Isto é importante, pois muitos agricultores não utilizam os contratos futuros justamente pelo temor em não conseguir arcar com estes custos. Em segundo lugar, a busca de proteção, conhecido como hedge, quando feito com opções, limita apenas às perdas, e não os ganhos como ocorre com o hedge com futuros⁴.

O mercado de opções sobre futuros agropecuários no Brasil é ainda bastante incipiente. A Tabela 1 mostra a evolução dos contratos de opções negociados na BM&F nos últimos anos. O que chama a atenção em primeiro lugar é a importância do café, que representa mais de 90% de todas as opções

⁴ Há várias estratégias de hedge com opções. As mais comuns limitam apenas as perdas e não os ganhos, mas é possível montar estratégias diferentes. Ver Hull (1998).

negociadas em todos os anos examinados. Além disso, pode-se notar uma grande variação no total de opções negociadas a cada ano, com um grande salto em 2007. Entretanto, mesmo no caso do café, esse resultado ainda é pequeno se comparado ao total de contratos futuros negociados, que chegou a mais de 2 milhões de contratos em 2007.

Uma das razões que explicam a aversão de muitos agentes ao mercado de opções é a falta de familiaridade com os modelos de precificação de opções existentes, essenciais para a tomada de decisão e a avaliação dos prêmios negociados no mercado. Assim, dada a importância deste instrumento de gestão de risco, é necessário analisar se os modelos de precificação de opções existentes são adequados para utilização no caso brasileiro, de forma a auxiliar os agricultores e demais agentes na tomada de posição no mercado. O modelo de precificação de opções sobre futuros mais utilizado é conhecido como Modelo de Black e será este o objeto de estudo neste artigo.

2 - Modelo de Black

O valor de uma opção depende do preço do ativo objeto subjacente (HULL, 1998). Suponha uma opção europeia⁵: esta opção só será exercida se, nesta data, ela proporcionar um retorno positivo para o investidor. Assim, para o caso de uma opção de compra, seu valor no vencimento será:

$$c = \text{Max} (F-X, 0) \quad (1)$$

em que

F = preço do contrato futuro;

X = preço de exercício da opção.

Da mesma forma, no caso de uma opção de venda:

$$p = \text{Max} (X-F, 0) \quad (2)$$

Fica claro que o grande desafio na valoração de uma opção é determinar qual a probabilidade de a opção ser exercida, o que passa diretamente pelo exame do comportamento dos preços do ativo objeto. Em 1973, dois economistas americanos, Fisher Black e Myron Scholes, publicaram um artigo propondo uma fórmula para precificação de opções europeias sobre ações que não pagavam dividendos (BLACK & SCHOLES, 1973). A pressuposição utilizada foi de que o

⁵ Opções europeias são aquelas que só podem ser exercidas no vencimento. Já as opções americanas podem ser exercidas a qualquer momento até o vencimento.

preço das ações segue uma distribuição lognormal e, portanto, a probabilidade de sua ocorrência poderia ser avaliada com base em sua média e desvio-padrão. Em 1976, Black desenvolveu um modelo de precificação para opções sobre futuros (BLACK, 1976) semelhante ao modelo para ações publicado três anos antes. Ele pressupôs que o preço futuro segue um movimento Browniano geométrico, o que faz com que o contrato futuro seja tratado como uma ação que rende um dividendo contínuo igual a r , a taxa de juros livre de risco.

As fórmulas de Black para *calls* e *puts* européias para opções sobre futuros são as seguintes (HULL, 1998):

$$c = e^{-rT} [FN(d_1) - XN(d_2)] \quad (3)$$

$$p = e^{-rT} [XN(-d_2) - FN(-d_1)] \quad (4)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{F}{X}\right) + \frac{\sigma^2}{2T}}{\sigma\sqrt{T}} \quad (5)$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{F}{X}\right) - \frac{\sigma^2}{2T}}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (6)$$

Em que:

c = preço de uma *call* européia;

p = preço de uma *put* européia;

F = preço do contrato futuro;

X = preço de exercício da opção;

$N(x)$ = função de densidade de probabilidade acumulada de uma normal padrão;

r = taxa de juros livre de risco;

σ = volatilidade.

Dos parâmetros da fórmula de Black, o único que não é diretamente observável é a volatilidade. Ela pode ser calculada de duas formas distintas: por meio do comportamento passado dos preços futuros (volatilidade histórica) ou por meio dos prêmios reais observados no mercado, usando a fórmula de Black (volatilidade implícita).

A volatilidade histórica é calculada utilizando-se o desvio-padrão dos retornos diários dos preços do contrato futuro. Se $u_1 = \ln\left(\frac{F_i}{F_{i-1}}\right)$ é o retorno diário do contrato futuro (F), então seu desvio-padrão é dado por:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2} \quad (7)$$

em que:

$n + 1$ = número de observações;

s = desvio-padrão;

\bar{u} = média dos retornos.

É comum a utilização de dados diários e assim, a medida acima representa o cálculo da volatilidade diária. Entretanto, na maior parte das vezes, é interessante apresentar a volatilidade anual do contrato futuro. Assim, para o cálculo da volatilidade anual, faz-se:

$$\sigma = s\sqrt{252} \quad (8)$$

em que 252 representa o número de dias úteis em um ano.

A determinação de n não é trivial. Mais dados conduzem a uma exatidão maior, mas dados muito antigos podem não ser relevantes para prever o futuro. Hull (1998) sugere um período de 90 a 180 dias com dados diários. Outra regra prática seria fazer com que o período de tempo sobre o qual a volatilidade será medida seja igual ao período sobre o qual ela será aplicada. Assim, por exemplo, para uma opção com vencimento de dois anos, seriam usados dados diários de dois anos para o cálculo da volatilidade (HULL, 1998).

É comum que se utilizem também médias-móveis para o cálculo da volatilidade histórica. Dessa forma, escolhe-se o tamanho da amostra (geralmente 20 ou 30 observações) e a cada nova observação, exclui-se a primeira observação e refaz-se o cálculo da volatilidade, até que todos os dados sejam utilizados. Dessa forma, chega-se a um valor médio da volatilidade (AGUIAR, 2001).

A volatilidade implícita consiste em se aplicar a fórmula de Black de forma “reversa”, ou seja, calcular o valor da volatilidade que geraria os prêmios que efetivamente ocorreram no pregão. Assim, a volatilidade implícita seria um bom indicador da opinião do mercado sobre a volatilidade esperada do contrato

futuro. Seu pressuposto é de que o modelo de Black precifica corretamente as opções negociadas no mercado e que, portanto, os preços desta são iguais aos calculados pela fórmula.

Alguns estudos foram realizados para determinar a aplicabilidade da fórmula de Black & Scholes no Brasil ou avaliar qual a medida de volatilidade é mais indicada para utilização no mercado de opções. Lanari et al. (2000) destacam os trabalhos de Barreto e Baidya (1987) e Duarte Jr. et al. (1995), que detectaram desvios dos dados empíricos de precificação de opções de ações em relação ao modelo de B&S. Já Gabe e Portugal (2004) avaliaram a previsão da volatilidade futura usando as volatilidades implícita e histórica⁶. Seus resultados indicam que modelos que utilizam dados *ex-post* (como a volatilidade histórica) conseguem prever a volatilidade futura com maior precisão do que um modelo de natureza *forward looking*, como é o caso da volatilidade implícita. Em relação às opções sobre futuros, Ramos da Silva e Macedo (2003) analisaram o mercado de opções sobre futuros de café arábica para o primeiro semestre de 2002 e concluíram que a precificação das opções com o modelo de Black é mais adequado quando se utiliza a volatilidade implícita estimada em um dia para a precificação do dia seguinte. Entretanto, mesmo nesse caso, o desempenho do modelo tem sérias restrições quanto ao erro médio de previsão, com valores de até 55%.

O objetivo deste trabalho é avaliar se a fórmula de Black precifica corretamente as opções de compra sobre futuros agropecuários, examinando a opção mais negociada no mercado: aquela sobre o contrato futuro de café arábica. Este trabalho é de certa forma uma atualização do trabalho de Ramos da Silva e Macedo (2003), que realizaram sua pesquisa num momento de liquidez reduzida no mercado de opções, o que poderia comprometer seus resultados. Desde então, o mercado de opções sobre futuros de café mais do que dobrou de tamanho, o que justifica uma atualização de seus resultados. Além disso, este trabalho inova em relação a Ramos da Silva e Macedo (2003) ao utilizar o procedimento de Vittielo Jr. (2000) para cálculo da volatilidade implícita usando a informação de todas as opções negociadas para um mesmo contrato futuro. Adicionalmente, o cálculo da volatilidade histórica foi feito usando-se médias móveis com janelas amostras de 10, 20, 30 e 90 dias, ao invés da escolha arbitrária de um período apenas. Dessa forma, acredita-se que as conclusões deste estudo serão importantes para os agricultores ou outros agentes que utilizam este mercado como forma de transferir o risco de preços da sua atividade para terceiros.

⁶ Os autores utilizam, além dos modelos de média móvel, modelos de variância condicional da família ARCH. Ver Gabe e Portugal (2003)

3 – Metodologia

Para analisar se o modelo de Black precifica corretamente as opções sobre futuros de café, uma comparação será feita entre o preço observado no mercado e o preço teórico calculado utilizando-se das duas medidas de volatilidade descritas anteriormente. Inicialmente, calcula-se a volatilidade histórica usando-se médias móveis: neste trabalho, utilizam-se janelas amostras de 10, 20, 30 e 90 dias. Essas medidas são utilizadas (separadamente) na fórmula de Black para o cálculo do preço teórico da opção examinada. A utilização de períodos distintos permitirá determinar qual é a melhor janela amostral que deve ser utilizada para precificação das opções.

Da mesma forma, para cada preço observado no mercado, será calculada a volatilidade implícita de acordo com a fórmula de Black. A volatilidade implícita obtida com os dados de um determinado dia será utilizada como volatilidade futura para o cálculo do preço teórico da opção no dia seguinte. Quando mais de uma opção for negociada naquele dia, usa-se o procedimento descrito em Vittiello Jr. (2000) para cálculo da volatilidade implícita usando a informação de todas as opções negociadas para um mesmo contrato futuro.

Segundo Vittiello Jr. (2000), tendo-se obtido a volatilidade implícita, no dia t , de uma das opções e considerando-se que a volatilidade implícita de uma opção “no-dinheiro”⁷ é boa referência para a volatilidade do ativo objeto⁸ e que cada série de opções lançadas sobre o mesmo contrato futuro pode fornecer diferentes resultados, aplica-se a regressão apresentada na equação abaixo para se obter uma estimativa da volatilidade do contrato futuro:

$$\sigma_{ijt} = \sigma_{i0t} + \sigma_{i1t}m_{ijt} + \varepsilon_{jt} \quad (9)$$

em que

σ_{ijt} = volatilidade implícita da opção j sobre o contrato futuro i no instante t ;

σ_{i0t} = volatilidade implícita de uma opção “no-dinheiro”;

σ_{i1t} = parâmetro da regressão;

⁷ O valor intrínseco (I) de uma opção é o ganho que pode ser obtido exercendo-se imediatamente a opção. As opções podem ser classificadas de acordo com seu valor intrínseco. Se $I > 0$, diz-se que a opção está dentro-do-dinheiro; se $I = 0$, a opção está no-dinheiro e se $I < 0$, a opção está fora-do-dinheiro. Ver Hull (1998).

⁸ Segundo Hull (1998), a importância de cada volatilidade implícita deve refletir a sensibilidade do preço da opção à volatilidade e o preço da opção “no-dinheiro” é muito mais sensível à volatilidade do que a opção “fora-do-dinheiro”. Vittiello (2000) cita os trabalhos de Ball e Torous (1986), Tucker, Peterson e Scott (1988) e Brace e Hodgson (1991), que corroboram a afirmação acima.

$$m_{ijt} = \frac{F_{it} - X_{ij}}{X_{ij}}, \text{ em que } F \text{ é o preço do contato futuro e } X \text{ o preço de exercício}$$

da opção;

ε_{jt} = erro padrão (ruído branco)

Dessa forma, o processo para obtenção da volatilidade implícita de uma opção no dinheiro deve seguir as seguintes etapas (VITTIELO JR., 2000):

- a) Calcular a volatilidade implícita, σ_{ijt} , ou seja, calculam-se, no dia t , as volatilidades implícitas das opções lançadas sobre determinado contrato futuro i ;
- b) Tendo-se calculado σ_{ijt} , utiliza-se a equação (9) para se obter σ_{i0t} , a volatilidade implícita “no-dinheiro” do contrato futuro i , no instante t .

Para se comparar estatisticamente os preços teóricos calculados e os preços efetivamente observados, utiliza-se a estatística para observações emparelhadas. De acordo com Bussab e Morettin (1995), esse procedimento é utilizado quando as observações de 2 amostras são feitas no mesmo indivíduo, sendo estas formadas por pares $(X_1, X_2, \dots, X_n$ e $Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$. Para testar a hipótese de que os preços teóricos (Y) são estatisticamente iguais aos prêmios observados (X), tem-se:

$$H_0 : \mu_D = 0$$

$$H_a : \mu_D \neq 0$$

Usa-se, assim, a estatística t :

$$t = \frac{\bar{D} - \mu_D}{s_D / \sqrt{n}} \sim t_{(n-1)}$$

em que:

$$D_i = X_i - Y_i;$$

$$\bar{D} = \bar{X} - \bar{Y};$$

$$s_D = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}$$

4 – Fonte de dados

Os dados utilizados foram dados diários de prêmios de opções de compra de café arábica e dos preços dos contratos futuros subjacentes negociados na BM&F entre 02 de fevereiro de 2007 e 30 de Novembro do mesmo ano. Estes preços foram coletados junto à BM&F (BM&F, 2008). O número de observações coletadas foi de 210. A taxa de juros utilizada como *proxy* da taxa livre de risco foi a taxa de juros dos Certificados de Depósitos Interbancários (CDI) anual e composta, conforme fizeram Gabe e Portugal (2004)⁹, obtida junto ao Banco Central (BC, 2008).

5 – Resultados

Antes de apresentar os testes estatísticos comparando os preços teóricos calculados e os preços efetivamente observados, é interessante apresentar os gráficos das diferenças quando se utiliza a volatilidade histórica e a volatilidade implícita. O Gráfico 1 apresenta a diferença entre os preços observados e teóricos quando se utiliza a volatilidade histórica usando-se uma média móvel com janela amostral de 10 observações. Pode-se perceber que a utilização da fórmula de Black nesse caso subestima, na maior parte das vezes, os preços efetivamente observados.

Outros gráficos podem ser feitos para a diferença entre preços teóricos e observados quando se utiliza a volatilidade histórica usando-se médias móveis com janelas amostrais de 20, 30 e 90 observações (Gráficos 2, 3 e 4, respectivamente). Percebe-se que não há grandes modificações quando se altera a janela amostral, ficando clara a subestimação em todos os casos. Não há também nenhum padrão reconhecível de diminuição ou aumento da subestimação com o aumento da janela amostral. Em síntese, a análise gráfica parece indicar que a utilização da fórmula de Black com o uso da volatilidade histórica não fornece boas estimativas dos preços praticados no pregão.

⁹ De acordo com estes autores, “A taxa de juros livre de risco r na forma contínua é transformada para o caso brasileiro, onde se usa a taxa de juros efetiva anual i por dias úteis, com base em 252 dias úteis por ano, da seguinte forma: $r = \ln(1 + i)$.” Ver Gabe e Portugal (2003).

fórmula de Black e o caso do café arábica

Gráfico 1 - Diferenças entre preços observados e os preços teóricos calculados utilizando-se a volatilidade histórica com janela amostral de 10 observações

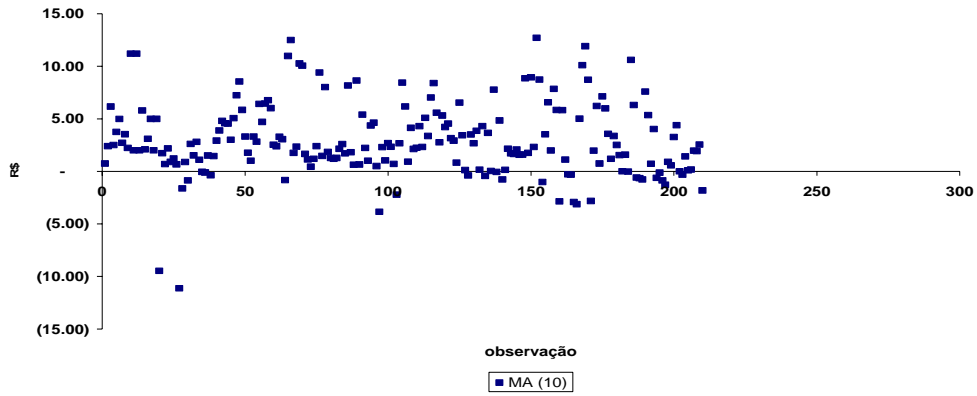


Gráfico 2 - Diferenças entre preços observados e os preços teóricos calculados utilizando-se a volatilidade histórica com janela amostral de 20 observações

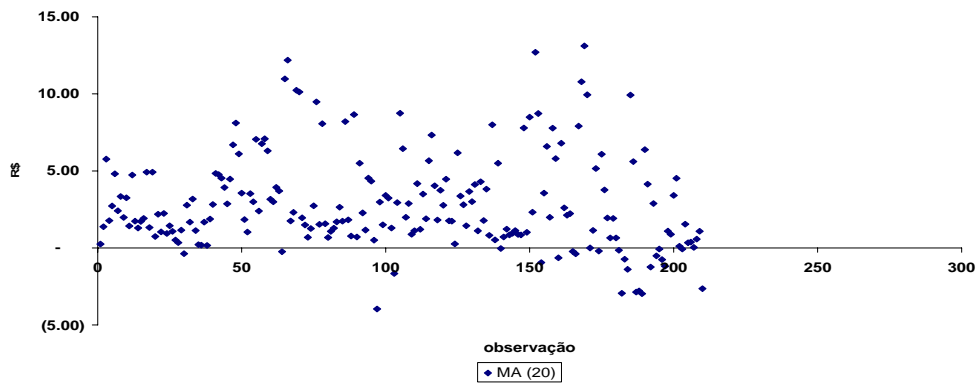


Gráfico 3 - Diferenças entre preços observados e os preços teóricos calculados utilizando-se a volatilidade histórica com janela amostral de 30 observações

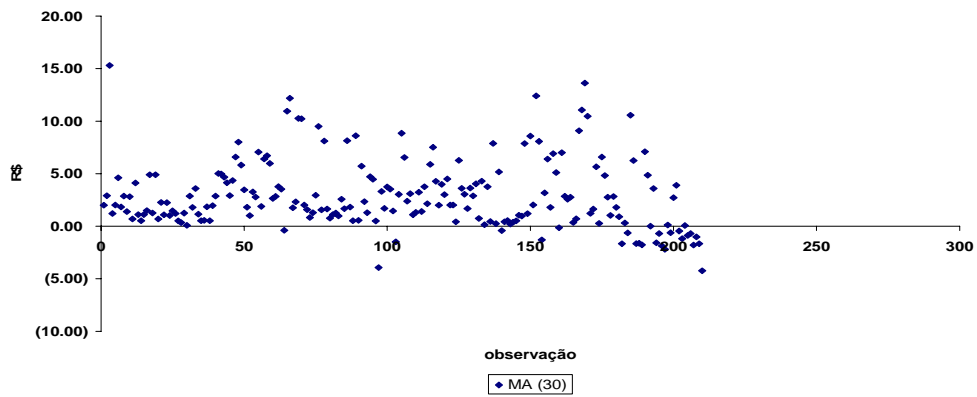
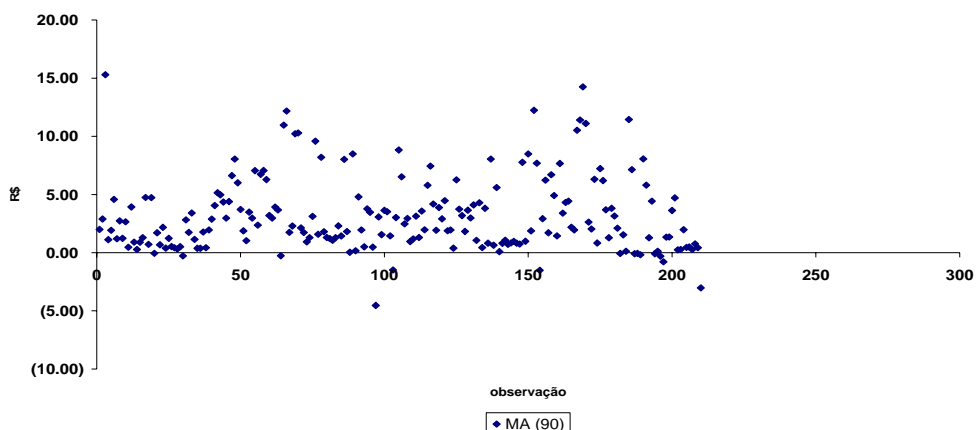
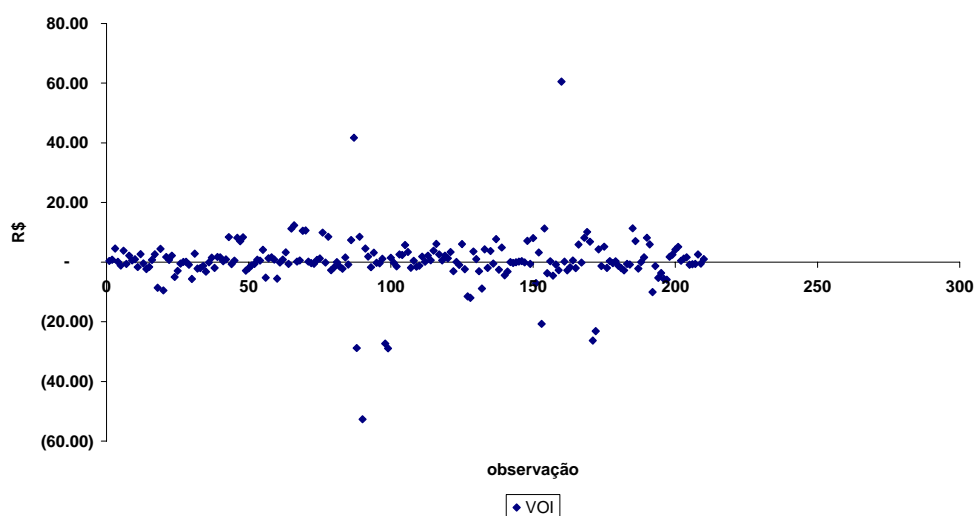


Gráfico 4 - Diferenças entre preços observados e os preços teóricos calculados utilizando-se a volatilidade histórica com janela amostral de 90 observações



Pode-se utilizar um gráfico também no caso do uso da volatilidade implícita na fórmula de Black para cálculo do preço teórico. A diferença entre o preço do pregão e o preço teórico para as 210 observações está contido no Gráfico 5. Pode-se perceber uma grande diferença deste gráfico em relação aos quatro anteriores. Com exceção de alguns *outliers*, as diferenças entre os preços observados e teóricos estão muito próximas de zero, mostrando que a utilização da fórmula de Black com a volatilidade implícita parece ser a norma no mercado para precificação de opções.

Gráfico 5 – Diferenças entre preços observados e os preços teóricos calculados utilizando-se a volatilidade implícita



A confirmação da análise gráfica deve ser feita por testes estatísticos que permitam concluir se há diferenças significativas entre os preços teóricos calculados e os preços efetivamente observados. Utilizando-se o teste para observações emparelhadas descrito na metodologia¹⁰ (Tabela 2), pode-se notar que, para o caso do uso da volatilidade histórica na fórmula de Black, rejeita-se ao nível de 1% de significância a hipótese nula de que as médias dos preços teóricos e observados são iguais, independente da janela amostral utilizada. Já para o caso do uso volatilidade implícita na fórmula de Black, não se rejeita a hipótese de igualdade entre as médias das séries. Assim, os testes confirmam a análise feita por meio dos gráficos: a utilização da volatilidade implícita gera resultados dos prêmios das *calls* sobre futuros de café arábica mais próximos daqueles negociados no mercado. Isso parece indicar que os agentes utilizam efetivamente a fórmula de Black para precificação de opções, usando a volatilidade implícita como medida da variabilidade dos preços dos contratos futuros de café arábica.

Tabela 2 – Testes sobre a média das diferenças entre os preços observados e os preços teóricos calculados utilizando a fórmula de Black

Modelo	Média	desvio-padrão	t calculado	p-valor
MA(10)	2.95	3.46	12,37*	0.0000
MA(20)	2.87	3.08	13,49*	0.0000
MA(30)	2.90	3.25	12,90*	0.0000
MA(90)	3.14	3.17	14,36*	0.0000
VOI	0.25	8.70	0.42	0.6730
VOI (sem outliers)	0.79	4.15	2,70*	0.0075

Fonte: Dados da pesquisa. * significativo a 1%

Um problema observado no Gráfico 2 é a presença de *outliers*, ou seja, observações muito discrepantes das demais. Isso ocorre apenas no caso da volatilidade implícita pelo fato de que, em muitos dias, apenas um negócio envolvendo opções é fechado. Neste caso, se o valor é exageradamente alto ou baixo, haverá a geração de um valor de volatilidade implícita muito diferente dos dias anteriores e esse valor será utilizado, na fórmula de Black, para o cálculo do valor teórico do dia subsequente. Isso causará o aparecimento de valores exagerados da diferença entre preço teórico e observado, bem discrepantes dos

¹⁰ O programa econométrico utilizado foi o EViews 4.0, Copyright 1994-2004, Quantitative Micro Software.

dias anteriores. Para tentar isolar esse tipo de “contaminação” da amostra, decidiu-se retirar os *outliers*, definidos arbitrariamente como valores superiores, em módulo, a R\$ 20,00 (9 *outliers* foram identificados). Realizou-se novamente o teste sobre as médias das diferenças e o resultado foi diferente do encontrado anteriormente (Tabela 2). Com a retirada dos *outliers*, rejeita-se agora a hipótese nula de que as médias dos preços teóricos e observados são iguais. Entretanto, o desempenho do modelo utilizando a volatilidade implícita é ainda claramente melhor do que os demais.

Uma forma de medir o desempenho de cada um dos modelos é analisar as diferenças obtidas entre os preços observados e teóricos em cada caso. A Tabela 3 apresenta os dados de subestimação, superestimação e erro médio de cada modelo. Na Tabela 3a, pode-se perceber que os modelos de precificação que se utilizam da volatilidade histórica, em geral, subestimam os valores dos prêmios negociados no mercado. Em relação ao erro médio, há uma semelhança grande no (mau) desempenho dos modelos, com erros médios superiores a 55%.

A tabela 3b apresenta os dados para os modelos de precificação que se utilizam da volatilidade implícita. Em primeiro lugar, pode-se notar um maior equilíbrio entre os casos de subestimação e superestimação. Além disso, o erro médio total é muito menor do que os modelos anteriores, chegando a menos de 5% no caso do modelo sem a retirada dos *outliers*. Entretanto, quando os erros médios são desagregados em erros positivos e negativos, percebe-se que eles são muito elevados, ou seja, mesmo os modelos com melhor desempenho apresentam erros médios de até 80%.

Uma outra forma de examinar a questão é examinar o desempenho dos modelos quando as opções estão dentro e fora do dinheiro (Tabela 4). Pode-se notar, inicialmente, que a ampla maioria (85,24%) das opções negociadas está fora-do-dinheiro. Em relação a precificação, os modelos que utilizam a volatilidade histórica tem desempenho semelhante nos casos de opções dentro e fora do dinheiro, com exceção do modelo MA(10), em que o desempenho é nitidamente melhor para o caso das opções dentro-do-dinheiro. Entretanto, para os modelos que utilizam a volatilidade implícita, os erros na precificação são muito menores para as opções fora-do-dinheiro do que para as opções dentro-do-dinheiro. O modelo VOI apresenta erro médio de apenas 0,59% do valor do prêmio no caso de opções fora-do-dinheiro, enquanto para opções dentro-do-dinheiro esse erro chega a quase 30%. Esse comportamento é observado também no modelo VOI sem outliers, com erros médios de 12,89% e 29,69% nos dois casos.

Tabela 3 – Desempenho de cada modelo em relação ao subestimação e superestimação dos prêmio das calls de futuros de café arábica

Prêmios	MA(10)			MA(20)			MA(30)			MA(90)		
	n° de obs.	Erro médio	Erro médio (%)	n° de obs.	Erro médio	Erro médio (%)	n° de obs.	Erro médio	Erro médio (%)	n° de obs.	Erro médio	Erro médio (%)
Observado > Teórico	179	3.76	73.44%	185	3.42	66.80%	186	3.45	67.38%	196	3.43	66.99%
Observado < Teórico	31	-1.69	-33.01%	25	-1.16	-22.66%	24	-1.41	-27.54%	14	-0.91	-17.77%
Total	210	2.95	57.62%	210	2.87	56.05%	210	2.9	56.64%	210	3.14	61.33%

(3a)

Prêmios	VOI			VOI sem outlier		
	n° de obs.	Erro médio	Erro médio (%)	n° de obs.	Erro médio	Erro médio (%)
Observado > Teórico	115	4.16	81.25%	113	3.33	65.04%
Observado < Teórico	95	-4.48	-87.50%	88	-2.47	-48.24%
Total	210	0.25	4.88%	201	0.79	15.43%

(3b)

Tabela 4 – Desempenho de cada modelo em relação à situação das calls de futuros de café arábica

Situação da opção	MA(10)			MA(20)			MA(30)			MA(90)			VOI			VOI sem outliers		
	n° de obs.	Erro médio	Erro médio (%)	n° de obs.	Erro médio	Erro médio (%)	n° de obs.	Erro médio	Erro médio (%)	n° de obs.	Erro médio	Erro médio (%)	n° de obs.	Erro médio	Erro médio (%)	n° de obs.	Erro médio	Erro médio (%)
Dentro do dinheiro	31	3.47	67.77%	2.6	50.78%	2.8	54.69%	2.97	58.01%	1.52	29.69%	1.52	29.69%					
Fora do dinheiro	179	2.86	55.86%	2.91	56.84%	2.91	56.84%	3.17	61.91%	0.03	0.59%	0.66	12.89%					
Total	210	2.95	57.62%	2.87	56.05%	2.9	56.64%	3.14	61.33%	0.25	4.88%	0.79	15.43%					

Dessa forma, isso parece indicar que os agentes utilizam efetivamente a fórmula de Black para precificação da maior parte das opções negociadas (opções fora-do-dinheiro), usando a volatilidade implícita como medida da variabilidade dos preços dos contratos futuros de café arábica.

6 – Conclusão

Os instrumentos de gestão privada de risco vem ganhando espaço rapidamente no Brasil, em especial no setor agropecuário. Neste cenário, é importante determinar a eficácia de instrumentos de precificação que auxiliem os agentes do agronegócio a operarem nos mercados futuros do país. Este trabalho mostra que desempenho do Modelo de Black para precificação de opções de compra de futuros de café arábica da BM&F é adequado apenas para opções fora-do-dinheiro, utilizando-se a volatilidade implícita como medida da variabilidade dos preços dos contratos futuros. Neste caso, os erros são geralmente pequenos, não atingindo em média 1% do valor do prêmio. Entretanto, quando se utiliza a volatilidade histórica ou para opções dentro-do-dinheiro, os erros de precificação são consideráveis, os que pode levar os agentes a tomada de posições inadequadas e conseqüente prejuízo.

Dessa forma, a utilização universal da Fórmula de Black para precificação de opções agropecuárias não parece ser adequada. A baixa liquidez desse mercado, em que poucos negócios têm grande influência sobre os prêmios, pode determinar grandes erros dessa fórmula tradicional de precificação. Entretanto, os resultados indicam que os agentes utilizam a fórmula de Black para precificação da maior parte das opções negociadas, usando a volatilidade implícita como medida da variabilidade dos preços dos contratos futuros de café arábica.

Referências bibliográficas

- AGUIAR, D. R. D. **Economia de mercados futuros**. UFV, Viçosa-MG, 2001. (trabalho não-publicado)
- BALL, C. A.; TOROUS, W. N. Futures Options and the Volatility of Futures Prices. **The Journal of Finance**, Vol. 41, No. 4., pp. 857-870, 1986.
- BC – Banco Central do Brasil - Disponível em < www.bcb.gov.br>. Acesso em 28/01/2008.

- BARRETO, L. A. B., BAIDYA, T. K. N., “Teste Empírico do Modelo de Black e Scholes na Avaliação de Opções da Vale do Rio Doce”, **Revista Brasileira do Mercado de Capitais**, v. 13, n. 39, pp. 89 - 108, Rio de Janeiro, 1987.
- BLACK, F. The pricing of commodity contracts. **Journal of Financial Economics**, 3, 167-179, 1976.
- BLACK, F.; SCHOLES, M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. **Journal of Political Economy** 81 (3), p. 637-654, 1973.
- BM&F – Bolsa de Mercadorias e Futuros. Disponível em < www.bmf.com.br>. Acesso em 28/01/2008.
- BRACE, A.; HODGSON, A. Index futures options in Australia: An empirical focus on volatility. **Accounting and Finance**, vol. 31, pp. 13–30, 1991.
- BUSSAB, W. O. & MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. 4 ed. São Paulo: Atual Editora, 1995, 321 p.
- CONCEIÇÃO, J.C.P.R. **A influência de variáveis de mercado e de programas governamentais na determinação dos preços de produtos agrícolas**. Texto para discussão N° 1221, IPEA, 2006.
- DUARTE JR., A. M., HEIL, T. B. B., PINHEIRO, M. A.,”Previsão da Volatilidade de Ativos e Índices Brasileiros” - **Resenha BM&F**, n. 112, pp. 15 - 27, São Paulo, 1995.
- GABE, J.; PORTUGAL, M. S.. Volatilidade Implícita Versus Volatilidade Estatística: Um exercício utilizando opções e ações da Telemar S.A. **Revista Brasileira de Finanças**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 47-73, 2004.
- HULL, J. **Opções, Futuros e outros Derivativos**. 3 ed. São Paulo: BM&F, 1998.
- LANARI, C. S. ; SOUZA, A. A. ; DUQUE, João L. C. . **Desvios em relação ao modelo de Black & Scholes: estudos relacionados à volatilidade dos ativos subjacentes às opções**. In: XIX ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, V International Congress of Industrial Engineering e III Encontro de Engenharia de Produção da UFRJ, 1999, Rio de Janeiro - RJ. Anais em CD-ROM, 1999. p. 1-14.
- RAMOS DA SILVA, T. J.; MACEDO, M.A.S. **Opções sobre contratos futuros de café arábica: uma avaliação da aplicabilidade do modelo de Black & Scholes**. In: Anais do X Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP), Bauru, SP, 2003.
- TUCKER, A.; PETERSON, D.R.;SCOTT, E. Tests of the Black-Scholes and Constant Elasticity of Variance Currency Call Option Valuation Models. **Journal of Financial Research**, Vol. 11, No. 3, 201-213, 1988.
- VITIELLO JR., L. R. S. O cálculo da volatilidade implícita de opções de compra lançadas sobre contratos futuros. **Resenha BM&F**, n. 138, São Paulo, p.33-40, 2000.