

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE ECONOMIA  
MONOGRAFIA DE BACHARELADO

# **Arbitragem de volatilidade no mercado brasileiro de opções sobre ações**

Guilherme Franco Barbosa  
Matrícula: 105054330  
Email: [guilhermefranco1@gmail.com](mailto:guilhermefranco1@gmail.com)

Orientador: Prof. Dr. Manuel Alcino Ribeiro da Fonseca  
Email: [mfonseca@ie.ufrj.br](mailto:mfonseca@ie.ufrj.br)

Setembro de 2011

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo incentivo dado durante toda minha vida, ao professor Manuel Alcino pela ajuda e atenção concedida durante a realização deste trabalho e aos meus amigos pela ajuda e amizade durante todo o curso.

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo fazer uma análise sobre o mercado de derivativos, em especial o mercado brasileiro de opções sobre ações. O foco será dado à análise das operações de arbitragem de volatilidade e se as mesmas ainda são factíveis no mercado atual da maneira preconizada pela literatura.

O texto está dividido em três partes. A primeira parte é composta por uma revisão bibliográfica sobre o mercado de derivativos, fazendo uma abordagem sobre a origem desses produtos e os principais tipos de contratos e participantes. Na segunda parte começarão a ser discutidos os contratos de opções, sua definição, terminologia, relações necessárias e modelos de precificação. Será reservada uma parte para a discussão sobre volatilidade dos ativos financeiros incluindo definições, estimativas e comportamentos empíricos observados. Na terceira parte serão apresentadas e classificadas as principais estratégias presentes nos mercado de opções dando enfoque especial às operações de volatilidade. Na sequência será apresentada uma operação realizada no mercado de opções de ações da Bovespa enquanto o trabalho estava sendo escrito conjuntamente com um balanço de resultados proposto para facilitar o acompanhamento da estratégia. Por fim, serão analisados os resultados obtidos com a operação.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO 1 – Derivativos: Mercado e modalidades</b>	
1.1 Derivativos	7
1.2 Ambientes de negociação	7
1.2.1 Bolsas	7
1.2.2 Mercado de Balcão	8
1.3 Principais instrumentos derivativos	8
1.3.1 Contratos a termo	8
1.3.2 Contratos futuros	11
1.3.3 Opções	11
1.4 Participantes do mercado de derivativos	13
1.4.1 Hedgers	13
1.4.2 Especuladores	13
1.4.3 Arbitradores	14
<b>CAPÍTULO 2 – Opções</b>	
2.1 Introdução	15
2.2 Terminologia	16
2.3 Fatores que afetam o preço de uma opção	17
2.4 Exercício antecipado	19
2.5 Paridade entre Put e Call	20
2.6 Modelos de precificação	21
2.6.1 Modelo de Black and Scholes	21
2.6.2 Letras gregas	23
2.7 Volatilidade	25
<b>CAPÍTULO 3 – Arbitragem de volatilidade</b>	
3.1 Introdução	30
3.2 Operações com opções	30
3.3 Arbitragem de volatilidade	33
<b>CONCLUSÃO</b>	<b>38</b>
<b>Referências bibliográficas</b>	<b>39</b>

## LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS

### Gráficos:

Gráfico 1.1 – “Payoff” de posição comprada a termo_____	9
Gráfico 1.2 – “Payoff” de uma venda a termo_____	10
Gráfico 1.3 – “Payoff” de uma compra de call_____	12
Gráfico 2.1 – Preço de uma call de preço de exercício 100 em função do preço do ativo objeto_____	15
Gráfico 2.2 – Ibovespa e volatilidade do Ibovespa em termos anuais_____	26
Gráfico 2.3 – Cone de volatilidade_____	29
Gráfico 3.1 – “Payoff” de operação borboleta_____	31
Gráfico 3.2 – Preço das ações ordinárias da OGX e volatilidade de 20 pregões_____	34

### Tabelas:

Tabela 1.1 – Principais diferenças entre um contrato a termo e um contrato futuro____	11
Tabela 2.2 – Relação entre o preço de calls e puts e seus determinantes_____	19
Tabela 3.1 – Balanço de resultado_____	37

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a economia brasileira vem se destacando no cenário internacional e o país se tornou um dos principais destinos para o fluxo de capitais disponíveis para investimento no mercado mundial. Juntamente com esse crescimento vem se observando uma evolução do mercado de capitais nacional com o surgimento de novos produtos e estratégias que visam oferecer ao investidor outras oportunidades de alocação. O presente trabalho terá por objetivo verificar a aplicabilidade no mercado financeiro nacional de uma estratégia de arbitragem amplamente difundida no mercado de derivativos internacional conhecida como arbitragem de volatilidade. Através dessa estratégia, investidores conseguem tirar proveito de contratos de opções que estão sendo negociados fora do seu preço justo seguindo o modelo desenvolvido por Fisher Black e Myron Scholes para a precificação desse tipo de derivativo no início da década de 1970 conhecido como modelo de Black and Scholes. O modelo é utilizado para identificar as distorções e também na montagem de uma carteira envolvendo o derivativo e o ativo objeto nas proporções adequadas para que a operação se torne viável.

Inicialmente será apresentada ao leitor uma revisão bibliográfica sobre o mercado de derivativos com detalhamento maior sobre o mercado de opções e em seguida será analisada uma operação executada no mercado local seguida de uma análise dos resultados obtidos.

## Capítulo 1 – Derivativos: Mercado e modalidades

### 1.1 – Derivativos

Um derivativo é um instrumento financeiro do qual o valor depende do preço de um determinado ativo. Historicamente, a criação de tal instrumento esta intimamente ligada à negociação de mercadorias e seu aparecimento deu-se como forma de agilizar e reduzir os riscos inerentes a produção e negociação de bens. A possibilidade de antecipar vendas através de um contrato em que o produtor se comprometia a entregar em data futura determinada quantidade de mercadoria a determinado preço era uma forma de garantir a este a comercialização de sua produção e ao comprador o preço e a certeza do produto na quantidade e qualidade necessária para suprir sua demanda. O primeiro derivativo de que se tem informação é o contrato futuro de arroz negociado no mercado Yodoya em Osaka no Japão em meados do século XVII. (Chance,1998)

O mercado de derivativos como conhecemos hoje tem sua origem no inicio da década de 1970 quando a Bolsa de Mercadorias de Chicago criou o contrato futuro de taxa de cambio, primeiro contrato futuro cujo ativo objeto não era um lote físico de commodities. Com o fim da conversibilidade do dólar para o ouro as oscilações das taxas de câmbio fizeram surgir a necessidade de um instrumento que amortecesse tais movimentos.

### 1.2 – Ambientes de negociação

No passar dos anos a negociação de tais instrumentos vem se dando em dois ambientes distintos: as bolsas e o “mercado de balcão”.

#### 1.2.1 – Bolsas

As bolsas são instituições onde os participantes se reúnem para negociar contratos previamente padronizados. Com o avanço tecnológico e a evolução dos meios de comunicação a negociação *in loco* vem dando espaço para a negociação eletrônica. Nesse ambiente a negociação é feita através de um sistema que promove o encontro dos negociadores e onde esses estão aptos a manifestar seus interesses e condições para negociar determinado contrato. Como exemplo, no mercado brasileiro o pregão realizado *in loco* na Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F) teve fim em meados de

2009. Desde então a totalidade das negociações em bolsa envolvendo derivativos no mercado brasileiro se dá eletronicamente.

### **1.2.2 – Mercado de balcão**

O mercado de balcão é uma alternativa ao mercado de bolsa e em alguns casos se mostra bem maior que este. Ele é composto por uma rede de operadores em diversas instituições interligados via telefone ou computador. Os negócios são fechados através de ligações telefônicas ou chats cujas conversas são usualmente gravadas para dar segurança às partes. As negociações neste ambiente envolvem normalmente montantes maiores do que aqueles observados no mercado de bolsa. O ativo objeto de tais negociações é na maior parte dos casos um contrato listado em bolsa sendo que a negociação se dá no balcão por envolver formadores de mercados ou grandes “players” que não encontrariam liquidez suficiente no mercado padrão para absorver suas ordens. Após o fechamento do negócio as partes registram a operação na bolsa que passa a ser responsável pela liquidação da operação. Contudo, nesse tipo de mercado podem ser negociados instrumentos não listados, criados exclusivamente para atender a demanda de dois participantes. Como exemplo podemos imaginar um contrato de negociação futura de um ativo para liquidação em uma data que não é encontrada nos contratos negociados nas bolsas. Essa é a principal vantagem do mercado de balcão. A desvantagem é o fato de existir em casos como esse um maior risco de crédito já que como o contrato é bilateral, não exigindo a princípio o depósito de garantias pelas partes, a chance de um dos participantes não ter condições de honrar o compromisso é maior. No Brasil podemos citar como exemplos de instrumentos que tem a maior parte dos negócios realizados em mercado de balcão as opções de índice Bovespa, opções sobre contrato de índice Bovespa futuro, as opções sobre contrato futuro de dólar e opções sobre IDI (índice DI), segundo dados da Bovespa.

## **1.3 – Principais instrumentos derivativos**

### **1.3.1 – Contratos a termo**

Hull (2008) define um contrato a termo como um acordo de compra ou venda de um ativo por certo preço em determinada data futura. Uma das partes envolvida na negociação assume posição comprada e aceita comprar o ativo objeto por certo preço em data futura enquanto outra assume posição vendida aceitando vender tal ativo por esse preço na mesma data. No mercado brasileiro os contratos a termo são



especialmente populares no mercado de ações e, diferentemente do padrão internacional, no Brasil tais contratos são negociados em bolsa. Ao comprar uma ação a termo o investidor só terá que desembolsar o recurso no futuro, necessitando apenas depositar um percentual do valor do contrato como garantia criando dessa forma uma possibilidade de alavancagem já que se pode adquirir um volume financeiro maior do que o disponível no presente.

O resultado de uma operação de compra de um contrato a termo pode ser expresso pela seguinte equação:

$$P = S_t - K$$

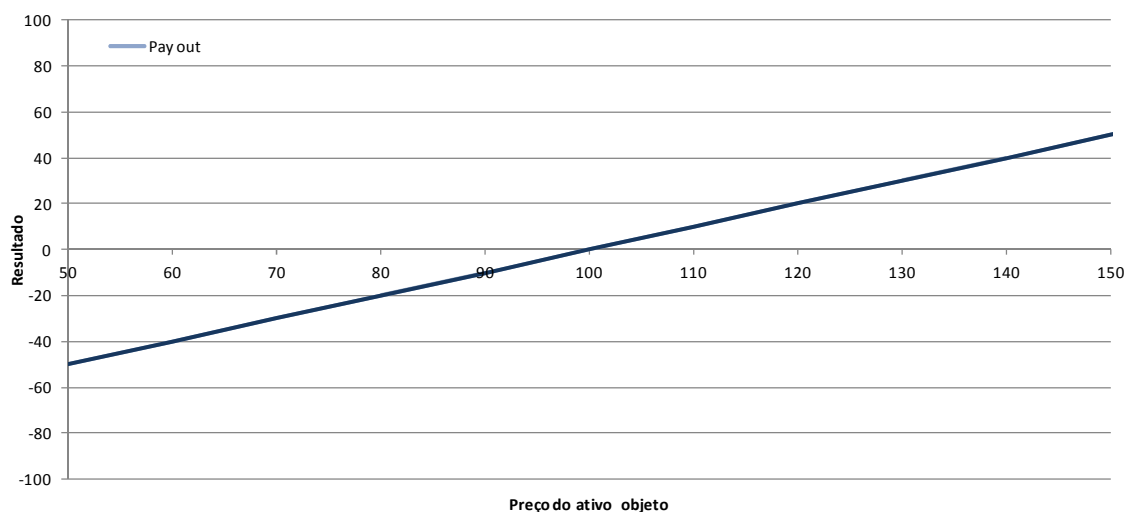
Onde:

K: preço estabelecido no contrato

$S_t$  : preço do ativo objeto no mercado a vista na data de vencimento do contrato.

Como pode ser visto, quanto maior for o preço do ativo objeto em relação ao preço estabelecido no contrato na data de liquidação do mesmo maior será o ganho obtido pelo comprador. O gráfico dessa equação deixa clara a relação direta entre o resultado da operação e o preço no mercado a vista. No âmbito da análise de derivativos é bastante comum fazer o uso de gráficos para estudar os cenários das operações. Tais gráficos são denominados “*gráficos de payoff*”.

Gráfico 1.1 – Payoff de posição comprada a termo.



Fonte: Planilha desenvolvida pelo autor.

Analogamente, uma operação de venda a termo pode ser expressa pela equação abaixo.

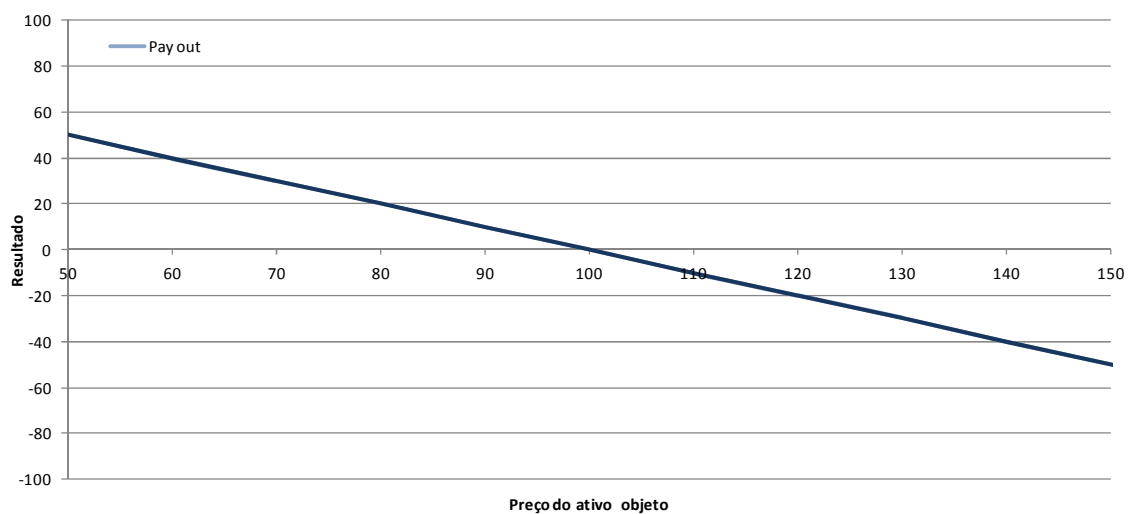
$$P = K - S_t$$

Onde:

K: preço estabelecido no contrato

$S_t$ : preço do ativo objeto no mercado a vista na data de vencimento do contrato.

Gráfico 1.2 – Payoff de uma venda a termo



Fonte: Planilha desenvolvida pelo autor.

Em um mercado equilibrado o preço a termo de determinado ativo deve ser seu preço a vista levado a valor futuro pela taxa de juros do período. Se isso não for verdade e o preço a termo do ativo objeto for menor que seu preço a vista carregado pela taxa de juros, será possível tomar dinheiro abaixo da taxa praticada no mercado através da compra do ativo a termo. O investidor vende o ativo hoje, recebendo o valor negociado no mercado a vista, e compra o mesmo a termo. A operação resulta em um fluxo de caixa de renda fixa, porém, com um montante de juros pagos inferior ao que se encontraria caso fosse utilizado os instrumentos convencionais. Portanto, caso o preço a termo seja diferente do preço a vista levado a valor futuro, será aberta oportunidade de ganhos sem risco através de uma operação que arbitra as taxas praticadas nos dois mercados. Em um mercado regido pela simetria de informação a presença de tais

oportunidades não perdurará por muito tempo e conseqüentemente o preço a termo gravitará em torno de seu preço justo.

### 1.3.2 – Contratos futuros

Como um contrato a termo, um contrato futuro é um acordo entre duas partes para comprar ou vender um ativo por certo preço em data futura. A diferença entre eles é que os contratos futuros são contratos negociados em bolsa e padronizados por estas, isto é, a bolsa padroniza características como os vencimentos disponíveis e o lote mínimo de negociação. Outra característica peculiar aos contratos futuros são os ajustes diários de ganhos ou perdas. A bolsa determina diariamente um valor chamado preço de ajuste e após tal valor ser apurado, normalmente através da observação dos preços praticados no mercado do contrato durante o pregão, as posições em aberto neste são ajustadas. Quem está comprado a um preço inferior ao de ajuste recebe o crédito da diferença, quem está comprado a um preço superior arca com o débito da diferença funcionando de forma análoga para posições vendidas.

Tabela 1.1 – Principais diferenças entre um contrato a termo e um contrato futuro

Principais diferenças entre contratos a termo e contratos futuros	
<i>Contrato a termo</i>	<i>Contrato futuro</i>
Contrato particular entre duas partes	Contrato negociado em bolsa
Não padronizado	Padronizado
Possui normalmente uma data específica de vencimento	Possui várias datas de vencimento
Liquidado no vencimento	Liquidado diariamente através dos ajustes da bolsa
Normalmente levado até do vencimento pelas partes	Normalmente a posição é encerrada antes do vencimento

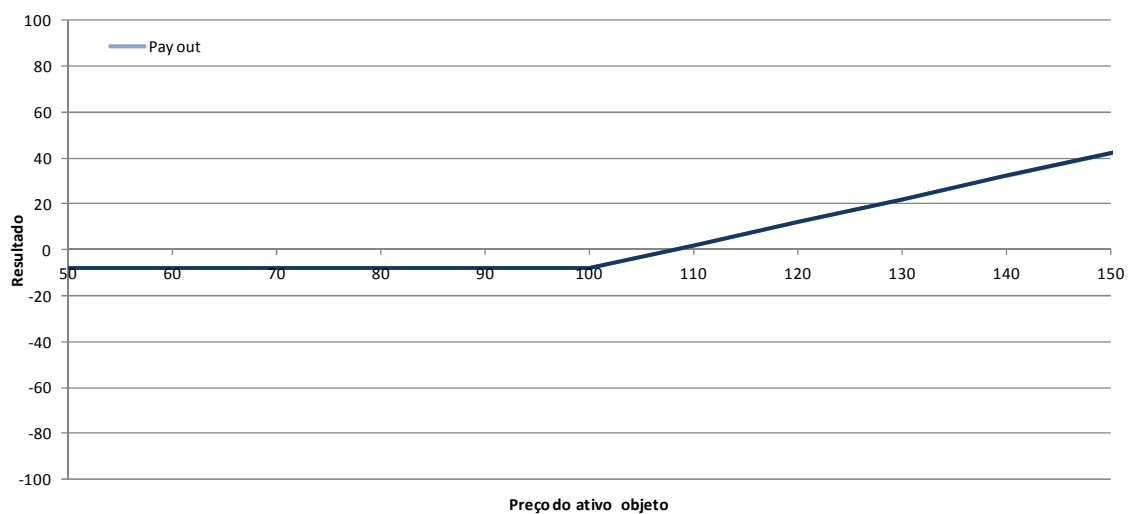
Fonte: Hull, John C. Options, futures and other derivatives. New Jersey, Pearson Prentice Hall, 2005.

### 1.3.3 - Opções

Opções são contratos que dão a seu comprador o direito de comprar/vender um ativo por um preço determinado até certa data. Elas são de dois tipos: opções de compra (call) e opções de venda (put). As opções de compra dão a seu comprador o direito de comprar o ativo por certo preço até uma data futura e as opções de venda dão a seu comprador o direito de vender o ativo por certo preço até uma data futura chamada de data de vencimento da opção. Opções do estilo americano podem ser exercidas a qualquer momento a partir de sua compra e opções do estilo europeu só podem ser exercidas na data de vencimento. A principal diferença entre os contratos de opção e os contratos futuros e a termo é que no contrato de opção o titular não tem a obrigação de

exercer seu direito, ele apenas o fará se for favorável, porém, há um custo para se adquirir uma opção ao passo que não existem custos para se tomar uma posição em um contrato a termo ou em um contrato futuro. Para ilustrar, podemos considerar um investidor que acredite na valorização futura do preço de determinado ativo negociado hoje a R\$100,00. Uma alternativa à compra do ativo é a compra de uma call com preço de exercício igual a R\$100,00 para vencimento em seis meses. Considerando que a mesma esteja sendo negociada a R\$8,00 no mercado e que o investidor opte por esta estratégia teremos os seguintes cenários na data de vencimento do contrato. Caso o preço do ativo esteja acima de R\$100,00 nesta data, o investidor irá exercer seu direito e comprará o ativo por R\$100,00 e, considerando o custo da opção, o custo de aquisição do ativo será de R\$108,00. Caso o preço do ativo esteja abaixo de R\$100,00, não será vantajoso exercer o direito de comprá-lo por R\$100,00 e a opção não será exercida tendo como resultado a perda do preço pago por ela no passado, R\$8,00. O gráfico de payoff abaixo mostra o resultado da operação de acordo com o preço do ativo objeto na data de vencimento da opção.

Gráfico 1.3 – Payoff de uma compra de call



Fonte: Planilha desenvolvida pelo autor.

Existem quatro tipos de posições no mercado de opções. Elas são:

- Compra de call – Paga-se o preço da opção para ter direito de comprar o ativo objeto.

- b. Venda de call – Recebe-se o preço da opção e tem-se a obrigação de vender o ativo objeto caso a opção seja exercida.
- c. Compra de Put – Paga-se o preço da opção para ter direito de vender o ativo objeto.
- d. Venda de Put – Recebe-se o preço da opção e tem-se a obrigação de comprar o ativo objeto caso a opção seja exercida.

## **1.4 – Participantes do mercado de derivativos.**

### **1.4.1 - Hedgers**

Hedge é um termo financeiro que denota uma posição em um instrumento financeiro ou em um ativo com objetivo de reduzir perdas potenciais de um investimento. Os “hedgers” vão ao mercado de derivativos para montar operações que reduzam o risco a que estão submetidos por conta de flutuações nas variáveis que estão expostos. Podemos citar como exemplo de “hedgers” empresas que tem faturamento em moeda local e despesas em dólar e por isso ficam expostas ao risco de oscilações desfavoráveis na taxa de câmbio; agricultores que ficam expostos às oscilações do preço da produção e gestores de carteiras que precisam limitar o risco de seus investimentos. Um clássico exemplo de hedge é o feito através da compra de puts para proteger carteiras de ativos aonde a compra da opção garante o direito de venda da carteira por um preço mínimo reduzindo a perda máxima que pode ser enfrentada caso o mercado passe por um período de turbulência.

### **1.4.2 - Especuladores**

Enquanto os “hedgers” desejam reduzir sua exposição a movimentos adversos no preço de um ativo, os especuladores recorrem ao mercado de derivativos para tomar uma posição no mercado. Essa posição pode visar a valorização ou desvalorização do ativo ou apenas o grau de oscilação em seus preços como será explicado mais a frente. A opção por se posicionar via derivativos pode ter, entre outras, uma das seguintes razões: busca por alavancagem da posição, falta de um mercado líquido do ativo objeto e impossibilidade de montar determinada posição no mercado a vista por questões regulamentares do mercado em que o mesmo é negociado.

### **1.4.3 - Arbitradores**

Arbitragem é a prática de se tirar proveito das discrepâncias nos preços de um ativo negociado em mais de um mercado, entre um ativo e seu derivativo ou entre dois ativos/derivativos que possuam uma relação intrínseca. Através de transações realizadas em dois ou mais mercados obtém-se ganhos com pequeno ou nenhum risco através do aproveitamento de distorções momentâneas na relação entre os preços desses instrumentos. Quando o preço de um contrato futuro está abaixo ou acima do preço do ativo objeto do contrato no mercado a vista carregado a valor futuro há uma oportunidade de se obter um ganho livre de risco através da execução de operações em ambos os mercados, como exposto acima.

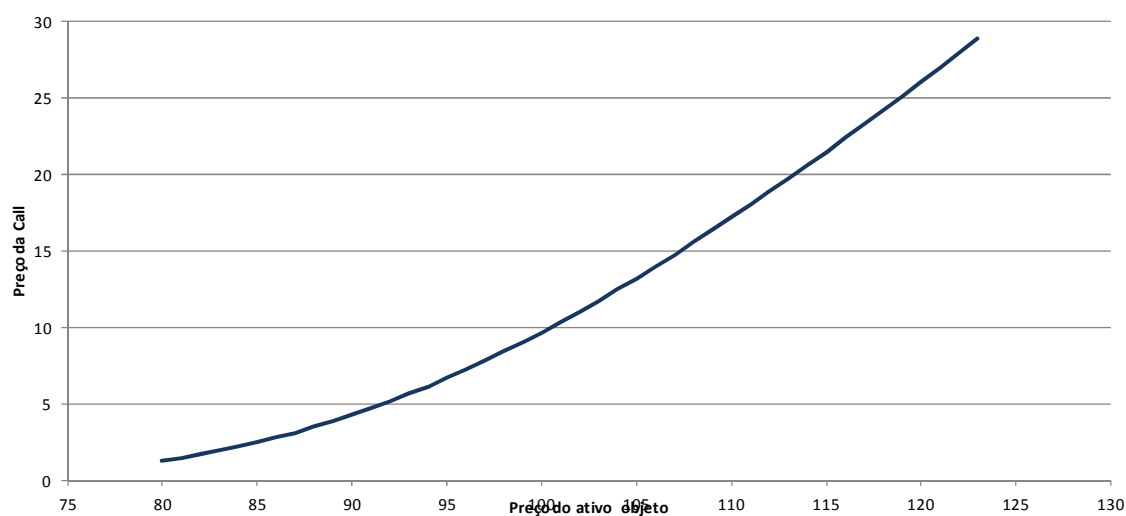
## Capítulo 2 - Opções

### 2.1 - Introdução

Os contratos de opções vêm sendo negociados há muitos anos mas só em 26 de abril de 1973 ocorreu o primeiro negócio em bolsa quando a *Chicago Board Options Exchange* criou o primeiro contrato padronizado de opção. Inicialmente estavam disponíveis apenas opções de compra sobre 16 ações negociadas no mercado americano e em 1977 foi introduzido o contrato de opção de venda. Hoje existem mais de 50 bolsas no mundo aonde são negociados contratos de opções incluindo-se nessas a bolsa de valores de São Paulo (Bovespa).

Os contratos de opção são classificados como derivativos não lineares já que seu preço é uma função não linear do preço do ativo objeto e do tempo para o vencimento. Segundo Taleb (1996) um derivativo linear é fácil de proteger enquanto um derivativo não linear apresenta grande instabilidade em seu preço e requer uma estratégia de “hedge” dinâmica, necessitando de ajustes com a mudança das cotações e do cenário. Enquanto o gráfico que mostra a relação entre o preço de um contrato futuro e seu ativo objeto em determinado momento é uma reta, o gráfico que representa o preço de uma call em função do preço de seu ativo objeto é uma curva, se tornando linear apenas no vencimento do contrato como expõe da Costa (1998).

Gráfico 2.1: Preço de call de preço de exercício 100 em função do preço do ativo objeto



Fonte: Planilha desenvolvida pelo autor. Para o cálculo do preço da call foi utilizada a fórmula de Black and Scholes.

Calls e Puts são as formas mais simples de um contrato de opção e por isso são frequentemente chamadas de *vanillas*. Existem outros tipos de opções caracterizadas como opções exóticas tais como opções com barreiras, opções asiáticas e opções binárias. Em nosso trabalho iremos focar na análise das opções vanilla, as mais populares no mercado local.

## 2.2 - Terminologia

Os assuntos abordados pelas teorias em finanças quantitativas e pelas teorias sobre derivativos são repletos de jargões que têm a função de facilitar a comunicação no mercado. Abaixo são listados os principais termos utilizados no mercado de opções que também serão utilizados no decorrer desse trabalho.

Prêmio: Montante pago pelo contrato.

Ativo objeto: O instrumento financeiro do qual o valor da opção depende. Este pode ser uma ação, uma commodity, uma moeda, entre outros.

Preço de exercício ou “strike”: O preço pelo qual o ativo objeto poderá ser comprado pelo titular no caso de uma call, ou vendido no caso de uma put.

Data de vencimento: Data a partir da qual a opção deixa de existir.

Valor intrínseco: O resultado financeiro obtido, quando positivo, pelo exercício da opção em determinado momento.

Valor extrínseco: A parcela do prêmio da opção que excede seu valor intrínseco.

Opção “in the money”: Uma opção que possui valor intrínseco, ou seja, uma call com preço de exercício inferior ao preço do ativo objeto ou uma put com preço de exercício superior ao preço do ativo objeto.

Opção “at the money”: opção que possui preço de exercício próximo ao preço do ativo objeto.

Opção “out of the money”: opção que possui valor intrínseco igual a zero. Opções “out of the money” tem a totalidade de seu preço representado por valor extrínseco.



### 2.3 – Fatores que afetam o preço de uma opção

Wilmott (2007) e Hull (2008) afirmam que o preço de uma opção de compra deve respeitar a função abaixo em seu vencimento:

$$V(S, t) = \text{Max}(S - K, 0)$$

Onde:

$V$  = preço da opção

$S$  = preço do ativo objeto

$t$  = momento  $t$ .

$K$  = preço de exercício da opção.

Durante sua vida, os três fatores mais importantes que afetam o preço de uma opção são o preço do ativo objeto, o tempo para o vencimento do contrato e a volatilidade do ativo objeto que é uma medida do “grau de flutuação” de seu preço e é particularmente interessante por conta da dificuldade de ser estimada. Os outros fatores que afetam o preço do contrato são o seu preço de exercício e a taxa de juros livre de risco praticada no mercado durante a vida da opção.

No mercado brasileiro de opções sobre ações, as opções são ditas “protegidas” pois têm seu preço de exercício corrigido quando da ocorrência do pagamento de proventos pela empresa emissora da ação, tornando desnecessária a utilização desta variável na precificação. No mercado americano isso não acontece e por esse motivo são abertas oportunidades para operações especulativas sobre o pagamento de dividendos futuros através de operações com opções conhecidas como *dividends-plays*.

A forma pela qual os fatores citados acima impactam o preço das opções são:

Preço de exercício (K): Para uma call espera-se que a medida que o preço de exercício suba, reduza-se a probabilidade de que a opção termine *in the money* e, portanto, seja exercida. Por isso, qualquer um que deseje comprar uma call preferirá pagar menos por uma opção com preço de exercício maior. No caso de uma put, um

preço de exercício maior faz aumentar as chances de exercício, elevando o preço da opção.

Preço do ativo objeto (S): Para uma call, à medida que sobe o preço do ativo objeto aumenta-se a probabilidade de exercício e, portanto, elevam-se os preços das opções. Para uma put um aumento no preço do ativo objeto, por analogia, implica em uma redução do preço da opção.

Tempo para o vencimento (T): A passagem do tempo é um importante fator na precificação das opções porque reduz a probabilidade de que oscilações favoráveis aconteçam no preço do ativo. Comparando duas opções do estilo americano, verifica-se que o detentor da opção de prazo mais longo possui mais direitos do que outro que possua um contrato com um prazo mais curto. Dai segue que tanto para calls quanto para puts americanas à medida que o tempo passa o preço da opção cai. Para calls européias, através de operações de arbitragem também é possível demonstrar que essa relação se mantém como faz Marins (2009), porém, quando se trata de puts européias já não é necessário que isso ocorra já que dois efeitos jogam em direções contrárias e não é possível prever qual deles dominará: quanto mais tempo restar até o vencimento da opção, maior a probabilidade de que oscilações favoráveis ocorram; por outro lado, diminui o valor presente do lucro que poderia ser obtido com o exercício da opção.

Taxa de juros (r): Quando as taxas de juros sobem, a taxa de crescimento esperado do preço das ações tende a aumentar, mas o valor presente dos fluxos financeiros futuros oriundos de um possível exercício tende a se reduzir. Ambos efeitos agem sob a mesma direção numa put, reduzindo seu valor, mas atuam em direções opostas numa call. No entanto, é possível mostrar, como faz Marins (2009), que o primeiro efeito sempre domina o segundo aumentando o preço da call quando as taxas de juros sobem.

Volatilidade ( $\sigma$ ): A volatilidade dos retornos dos preços do ativo objeto trabalha no mesmo sentido da passagem do tempo. Quanto maior a volatilidade maior a probabilidade de que a opção termine *in the money* e, portanto, de que seja exercida. Isso ocorre porque a maior volatilidade aumenta o intervalo de variação possível para o preço do ativo objeto. Assim, quanto maior a volatilidade, maior a probabilidade de que oscilações favoráveis ocorram, e maior o preço das opções.

Tabela 2.1: Relação entre o preço de calls e puts e seus determinantes.

	<i>Call</i>	<i>Put</i>
Preço de exercício	-	+
Preço do ativo objeto	+	-
Tempo para o vencimento do contrato	+	?
Taxa de juros	+	-
Volatilidade	+	+

Fonte: Hull, John C. Options, futures and other derivatives. New Jersey, Pearson Prentice Hall, 2005.

## 2.4 – Exercício antecipado

Não existem vantagens para o detentor de uma opção de compra americana exercê-la antes da data de vencimento do contrato. Isso ocorre por conta da existência do prêmio de risco embutido no preço da opção (valor extrínseco) que faz com que antes do vencimento ela seja negociada a um preço maior do que seu valor intrínseco. Portanto, caso seja de interesse do detentor do contrato exercê-lo, é mais vantajoso vender a opção no mercado recebendo por isso o resultado que seria obtido no exercício mais o prêmio de risco. Formalizando, temos:

$$V \geq S_0 - Ke^{-rT}$$

Onde:

$V$  = preço da opção

$S_0$  = preço do ativo em  $T_0$

$K$  = preço de exercício

$e$  = operador exponencial

$r$  = taxa de juros até o vencimento do contrato

$T$  = tempo para vencimento do contrato.

Considerando  $r > 0$ , temos:

$$C > S_0 - K$$

Nunca será interessante exercer uma opção de compra antes de seu vencimento quando a taxa de juros ( $r$ ) é maior que 0 já que nesse caso seu valor supera o ganho obtido com seu exercício. No caso de uma opção de venda, caso a mesma esteja suficientemente dentro do dinheiro será vantajoso exercer o contrato.

## 2.5 – Paridade entre Put e Call

A paridade entre Put e Call é uma relação de não arbitragem entre os preços de uma Put e uma Call européias com mesmo preço de exercício e mesma data de vencimento e o preço do ativo objeto. Temos que:

$$C - P = S - Ke^{-rt}$$

Onde:

C = preço da call

P = preço da put

K = preço de exercício das opções

e = operador exponencial

r = taxa de juros até o vencimento dos contratos

T = tempo restante para o vencimento dos contratos

Se o preço da Call estiver abaixo do preço de equilíbrio, o investidor compra a opção, vende o ativo objeto e vende a put de mesmo strike, garantindo a recompra do ativo pelo preço de exercício na data de vencimento e aplica o encaixe recebido em To a juros  $r$  auferindo um ganho sem risco já que arbitra a taxa menor paga pelo “empréstimo” feito com a operação com opções com a taxa maior obtida com a aplicação de renda fixa. A preços de equilíbrio a operação torna-se inviável já que a taxa paga na operação com opções é igual a taxa de juros do período compreendido até o vencimento.

## 2.6 – Modelos de Precificação

Modelos de precificação são um conjunto de equações matemáticas que visam calcular o preço justo de um instrumento financeiro em determinado cenário. Até meados de 1970 os modelos existentes eram bastante complexos o que tornava suas soluções demoradas e suas aplicações no dia a dia inviáveis.

### 2.6.1 – Modelo de Black and Scholes

Em 1973, mesmo ano de criação da *Chicago Board Options Exchange (CBOE)*, Fisher Black e Myron Scholes introduziram o primeiro modelo prático para a precificação de opções conhecido como modelo de Black and Scholes sendo até hoje o modelo mais utilizado para a precificação desse tipo de contrato. A popularidade do modelo se deve a sua relativa simplicidade e ao número reduzido de variáveis e parâmetros necessários para o cálculo, que são:

- Preço de exercício da opção
- Tempo para o vencimento
- Preço do ativo objeto
- Taxa de juros até a data de vencimento
- Volatilidade do ativo objeto

Inicialmente os autores abordaram a precificação de calls do tipo europeu e depois ampliaram o modelo para a precificação de calls e puts do tipo europeu e americano, porém, mesmo antes da generalização para puts era possível obter o preço das mesmas pela paridade entre put e call. O valor obtido por esse meio e o obtido pelo modelo são iguais.

As premissas utilizadas pelos autores para um mundo regido pelo modelo são:

- Não existe oportunidade de arbitragem, ou seja, não existem distorções de preços entre instrumentos que viabilizem ganhos sem risco.

- É possível tomar emprestado e emprestar dinheiro a uma taxa de juros constante.
- É possível comprar ou vender qualquer quantidade, fracionaria ou não, do ativo objeto.
- Não existem custos de transação.
- O preço do ativo objeto segue um movimento browniano geométrico com drift e volatilidade constantes.

A fórmula derivada pelos autores para o preço de uma call é:

$$C = SN(d_1) - Ke^{-rT}N(d_2)$$

Onde:

C = Preço teórico da call

S = Preço do ativo objeto

T = tempo para o vencimento

K = Preço de exercício da opção

r = taxa de juros

$N$  = Distribuição Normal Cumulativa Padrão

$e$  = operador exponencial

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{K}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right) \cdot T}{\sigma\sqrt{T}}$$

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

$\sigma$  = desvio padrão dos retornos do ativo anualizados

ln = logaritmo natural

O preço de uma call pode ser interpretado como uma esperança matemática, porém, não são probabilidades reais ou efetivas, mas derivadas da análise financeira desenvolvida pelo modelo como abordado em Hull (2005).  $N(d_1)$  é a probabilidade do preço do ativo chegar ao vencimento acima do preço de exercício K e  $N(d_2)$  é a

probabilidade do preço do ativo cair abaixo do atual preço de mercado  $S$ , ambas em mundo neutro ao risco.  $N(d_1)$  é a probabilidade de um ganho ilimitado, caso o preço do ativo suba, e  $N(d_2)$  é a probabilidade de uma perda limitada, caso o ativo caia. A soma dessas probabilidades é que dará o valor no tempo da opção. No momento do vencimento  $N(d_1)$  e  $N(d_2)$  serão ambas iguais a 1, caso a opção dê exercício, ou iguais a zero caso não seja exercida.

### 2.6.2 – Letras Gregas

O modelo de Black and Scholes determina que é possível replicar uma opção com uma determinada posição em seu ativo objeto em uma dada proporção chamada de *hedge ratio* ou *delta*. Esse valor é instável alterando-se com as oscilações do ativo objeto e com o passar do tempo. Essa operação é conhecida na literatura financeira como *delta hedge*.

Formalmente o delta de uma opção é obtido derivando-se a equação do preço justo em relação a variável  $S$ , ou preço do ativo objeto. Além dessa informação, pode-se obter outras também de extrema importância derivando-se a equação do preço justo em relação às outras variáveis que a compõem. As fórmulas obtidas através desse processo e seus respectivos resultados são conhecidos como *Letras gregas* e na terceira parte deste trabalho serão utilizadas como instrumental de análise para a operação que será demonstrada.

- Delta – É a primeira derivada da equação de Black and Scholes em relação ao preço do ativo objeto. Tal valor dá o impacto esperado no preço de uma opção dado determinado movimento no preço do ativo objeto, tudo ou mais constante. O delta de uma opção varia de zero até um sendo que opções *in the money* possuem maiores deltas e opções *out of the money* possuem menores deltas. Normalmente o mercado classifica opções *at the money* como aquelas que possuem delta mais próximo a 0,5.

$$\Delta = N(d_1)$$

- Gamma – É a segunda derivada da equação de Black and Scholes em relação ao preço do ativo objeto. O “gamma” de uma opção mostra qual

a alteração esperada em seu delta para dada alteração no preço do ativo objeto, tudo ou mais constante. As opções *at the money* possuem os maiores “gammas”. Opções *in the money* e opções *out of the money* possuem “gammas” menores.

$$\Gamma = \frac{N'(d_1)}{S_0 \sigma \sqrt{T}}$$

- Theta – É a primeira derivada da equação de Black and Scholes em relação à variável tempo para o vencimento. Mostra qual a alteração esperada no preço de uma opção para cada dia que passa, tudo ou mais constante. Como no caso do “gamma”, opções *at the money* são as que possuem os maiores “thetas”. Conforme se aproxima da data de vencimento do contrato, o “theta” das opções aumenta. No mercado brasileiro de opções de ações a maior parte dos negócios concentra-se em opções com vencimentos inferiores a um mês, assim, os investidores tem de conviver com elevados “thetas” em suas posições. Conforme a volatilidade imputada no modelo aumenta, o “theta” de uma opção deve aumentar, já que uma maior volatilidade implicará em uma maior prêmio de risco para a opção, ou valor extrínseco, e este por sua vez terá que ser “perdido” mais rapidamente caso movimentos no preço do ativo objeto não ocorram.

$$\Theta = \frac{S_0 N'(d_1) \sigma}{2\sqrt{T}} - rKe^{-rT} N(d_2)$$

- Vega – É a primeira derivada da equação de Black and Scholes em relação a volatilidade. O vega de uma opção mostra qual a alteração esperada em seu valor dado uma alteração na volatilidade dos retornos do ativo objeto, tudo ou mais constante. Como no caso do “gamma” e do “theta”, os maiores vegas são observados nas opções *at the money*. O vega das opções diminui com o passar do tempo. Os operadores de opções de ações no mercado brasileiro tem de conviver com baixos vegas em suas operações, o que tende a reduzir o ganho obtido em operações de arbitragem de volatilidade.



$$v = S_0 \sqrt{T} N'(d_1)$$

- Rho – É a primeira derivada da equação de Black and Sholes em relação à taxa de juros. Mostra a variação esperada no prêmio de uma opção para dada variação nos juros, tudo ou mais constante. O rho de uma opção diminui com o passar do tempo. Como no mercado brasileiro há uma considerável estabilidade no mercado de juros e as opções negociadas são na maioria de maturidades pequenas, a variável juros costuma não ser problemática na precificação das opções sobre ações.

$$rho = KTe^{-rT}N(d_2)$$

## 2.7 - Volatilidade

De todas as variáveis necessárias para a precificação de um contrato de opção a que causa maior dúvida e de maior dificuldade de obtenção é a volatilidade do ativo objeto. Em finanças volatilidade é uma medida utilizada para calcular o grau de dispersão dos retornos de determinado ativo financeiro ao longo do tempo e a forma mais comum de calculá-la é utilizando o desvio padrão da série de retornos desse ativo durante um período. Tem –se:

$$u_i = \ln \frac{S_i}{S_{i-1}}$$

$$\sigma_m^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (u_{i-1} - \bar{u})^2$$

Onde:

u = retorno

ln = logaritmo natural

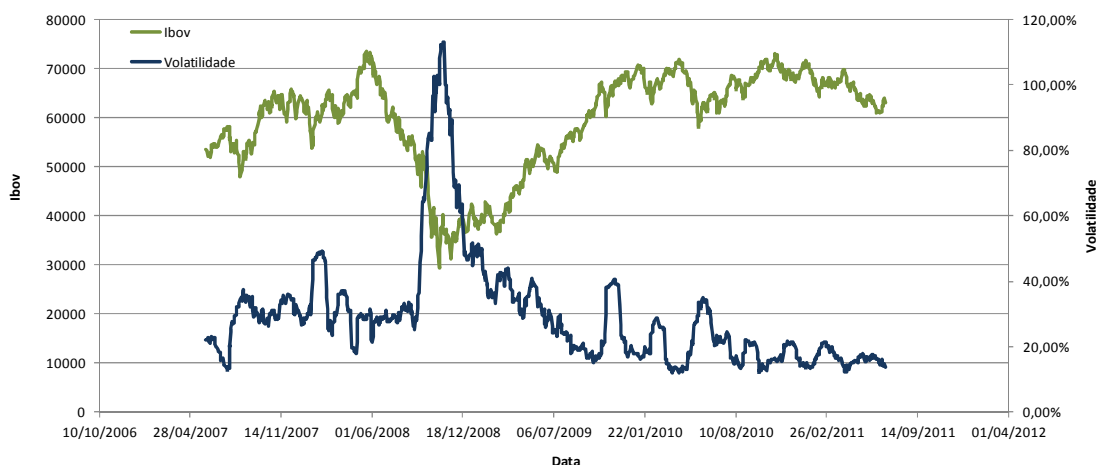
S = preço do ativo objeto

$\sigma$  = volatilidade

A volatilidade é normalmente expressa em termos anuais (252 dias) e uma característica interessante dessa variável é que ela possui uma relação linear com o

tempo através da raiz quadrada deste último, ou seja, uma volatilidade de retornos diários pode ser expressa em termos anuais através da multiplicação pela raiz quadrada do número de dias úteis compreendidos em um ano, por convenção 252.

Gráfico 2.2: Ibovespa e volatilidade do Ibovespa em termos anuais



Fonte: Broadcast

Segundo Alexander (2001), as séries de volatilidade exibem um padrão estacionário de reversão a média. Tecnicamente sua média e desvio padrão são constantes. Na figura acima é apresentada a série de preços do Índice Bovespa e a sua volatilidade de 20 dias em termos anualizados calculada desde a metade de 2007. Descartando o período da crise de 2008, a série da volatilidade apresenta o padrão descrito por Alexander (2001), oscilando entre um máximo e um mínimo e revertendo para a região de 30% ao longo do tempo. Outra característica que pode ser observada pela figura e estatisticamente comprovada é a correlação negativa entre a volatilidade e a série de preços do ativo. Em momentos de otimismo e elevação nos preços a volatilidade tende a diminuir e em momentos de crise, como a observada em 2008, a volatilidade tende a aumentar, algumas vezes de forma drástica.

Utilizando a análise proposta por Natenberg (1994) e Wilmott (2007), podemos considerar a existência de três tipos de volatilidades presentes no âmbito da precificação de derivativos: a volatilidade histórica, a volatilidade implícita e a volatilidade futura. A volatilidade histórica, ou realizada, de um ativo é aquela calculada com os retornos observados no passado e é de grande utilidade já que serve como base para os modelos de previsão. A volatilidade implícita é a volatilidade obtida através dos modelos de precificação e dos preços de mercado das opções. No caso do modelo de Black and

Scholes, é calculada através de métodos numéricos que obtêm a volatilidade que deveria ser imputada no modelo para que o preço resultante fosse igual ao de mercado. Alguns trabalhos mostram que em um mercado suficientemente líquido a volatilidade implícita das opções funciona como um bom previsor da volatilidade futura do ativo objeto. Por sua vez, a volatilidade futura é aquela vigente de  $T_0$  até a data de vencimento do contrato. É a volatilidade necessária para a precificação exata de uma opção e nas últimas décadas vem sendo objeto de especulação por parte dos operadores de opções ao redor mundo.

Uma característica interessante no âmbito da análise das volatilidades implícitas é a existência dos chamados *volatility skews* que são observações de diferentes volatilidades implícitas nos diferentes preços de exercícios negociados para determinado vencimento. Normalmente essas assimetrias apresentam padrões e estes vêm sendo alvo de inúmeros trabalhos como o apresentado por Javaheri (2005). O observado é que no mercado de opções sobre ações as opções *at the money* possuem uma volatilidade implícita menor que as opções *out of the money* e *in the money* e as opções com menores preços de exercício apresentam as maiores volatilidades implícitas. Natenberg (1994) atribui tal assimetria a um entendimento por parte do mercado de que a distribuição de probabilidade Normal para os retornos do ativo objeto adotada pelo modelo não reflete a realidade e este último subestimaria a probabilidade de retornos extremos como os observados em momentos de pânico no mercado. Formalmente teríamos a presença de uma calda esquerda maior na distribuição, *negative skewness*, e a presença de kurtose na mesma.

A volatilidade necessária para uma correta precificação de uma opção é a volatilidade futura do ativo objeto vigente até o vencimento. Existem alguns modelos utilizados para estimar com máximo de precisão possível tal valor e em nosso trabalho descreveremos três: o desvio padrão simples da série de retornos, o desvio padrão da série de retornos com decaimento exponencial (EWMA) proposto pelo banco JP Morgan em seu relatório *Risk Metrics* e o estimador de Parkinson (1980).

Desvio padrão: A estimativa de volatilidade de uma série de retornos futuros através da utilização do desvio padrão dos retornos passados é uma alternativa acessível, porém, de pouca eficácia. Um dos principais problemas existentes nessa abordagem é o fato de serem dados pesos iguais a todas observações da amostra utilizada para o cálculo. Isso faz com que movimentos observados em um passado

distante impactem na estimativa quando muitas vezes o cenário observado no momento é outro.

EWMA: Como alternativa para amenizar o problema observado no estimador do desvio padrão foi desenvolvido o estimador EWMA (exponencial weighted moving average) que através de um decaimento exponencial atribui pesos maiores às observações mais recentes da amostra. O problema relacionado a este estimador é a escolha do fator de decaimento ótimo. Em seu relatório *Risk metrics* o banco JP Morgan coloca como fator ótimo o número 0,94.

$$\sigma_n^2 = \lambda \times \sigma_{n-1}^2 + (1 - \lambda)u_{n-1}^2$$

Onde:

$\sigma_n^2$  = volatilidade estimada para n calculada no final do dia n-1

$\sigma_{n-1}^2$  = volatilidade estimada para o dia n-1

$u_{n-1}^2$  = retorno do ativo para o dia n-1

$\lambda$  = fator de decaimento, ( $0 < \lambda < 1$ )

Parkinson: A inovação introduzida por Parkinson na estimativa de volatilidades é a utilização não só de um único preço diário para o cálculo mas sim do preço máximo e do preço mínimo do dia, o que coloca na amostra a volatilidade apresentada pelo ativo durante o pregão. Apesar de agregar um número maior de informações no cálculo, Sinclair (2008) afirma que tal modelo subestima sistematicamente a volatilidade dos ativos por não levar em consideração em seu cálculo os *gaps* de preço observados de um dia para o outro.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{4n \ln 2} \sum_{t=1}^n \left( \ln \frac{hi}{li} \right)^2}$$

Onde:

$\sigma$  = volatilidade

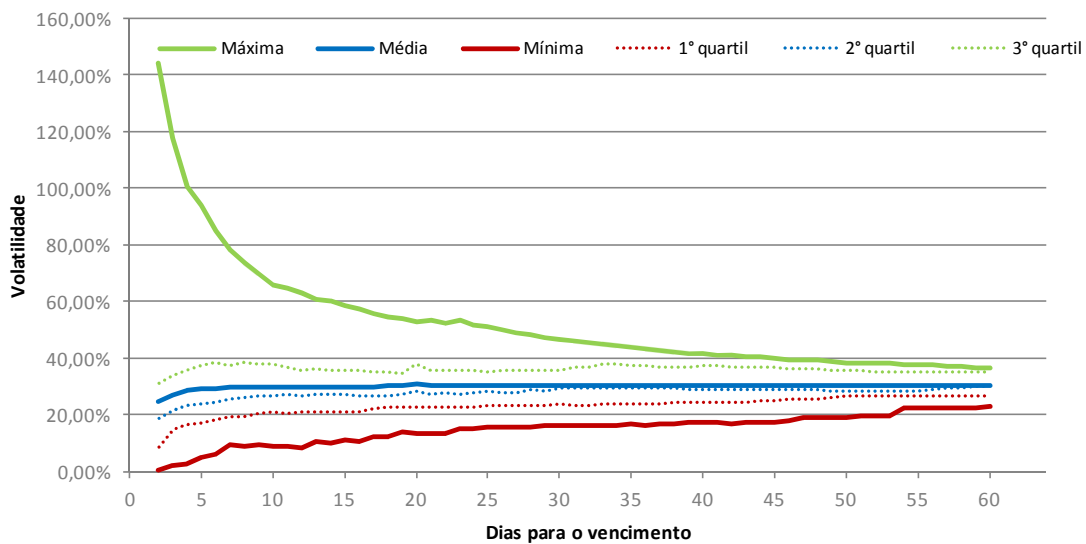
$\ln$  = logaritmo natural

$hi$  = maior preço no dia i

$li$  = menor preço no dia i

Além de estimar a volatilidade futura com base nos dados históricos é de igual importância o acompanhamento da volatilidade implícita por parte dos participantes para a determinação do sobrepreço ou não dos contratos. Uma forma intuitiva e prática de se fazer isso é através da utilização de cones de volatilidade propostos por Galen Burghardt (1998) que são gráficos que mostram a distribuição da volatilidade calculada para uma série de amostras de tamanhos diferentes. Na prática o investidor visualiza com maior facilidade aonde se encontra a volatilidade implícita da opção que está operando em relação aos níveis históricos de volatilidade apresentados pelo papel no passado.

Gráfico 2.3: Cone de volatilidade.



Fonte: Planilha desenvolvida pelo autor.

## Capítulo 3 – Arbitragem de volatilidade

### 3.1. – Introdução

A terceira parte desse trabalho irá analisar uma operação de volatilidade no mercado de opções de ações brasileiro. Inicialmente serão expostos os diferentes tipos de estratégias que podem ser montadas com esses instrumentos, com um detalhamento maior sobre as operações não direcionais, e em seguida partiremos para análise de uma operação realizada no mercado durante o período em que esse trabalho estava sendo escrito.

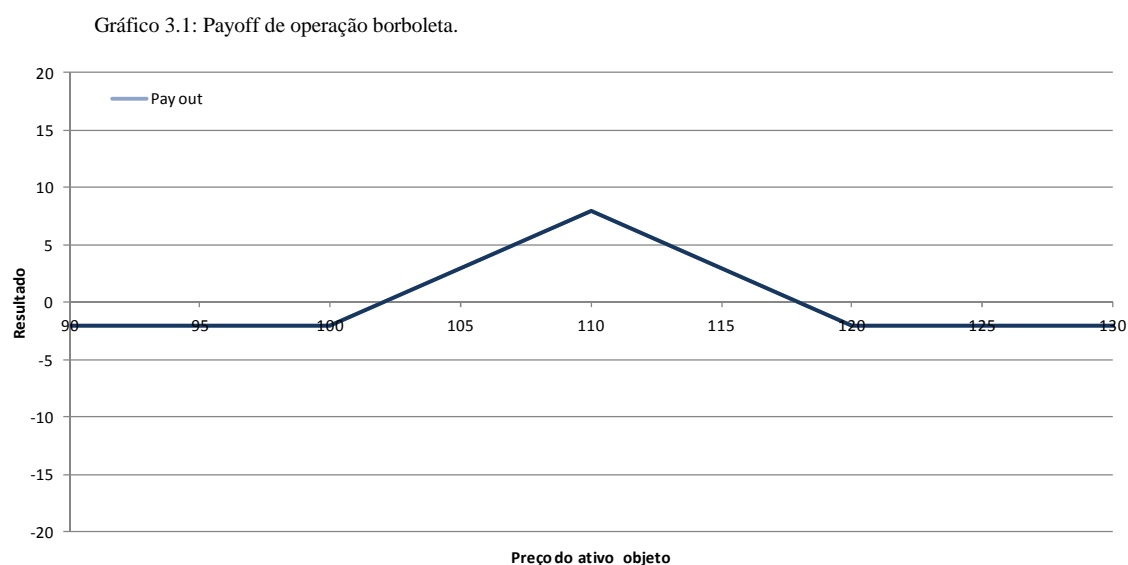
### 3.2. – Operações com opções

Toda operação que envolva opções será ou não lucrativa por um dos dois motivos: acerta a direção do mercado (é posição delta comprada com mercado em alta ou delta vendida com mercado em baixa); acerta a tendência ou a realidade da volatilidade. Podemos dividir as operações possíveis com opções em quatro grupos:

Compra/venda especulativa: quando se toma a posição em uma opção ou no máximo em um spread de opções com o objetivo de acertar a próxima direção do preço do ativo objeto. É uma alternativa bem comum no mercado já que possibilita ao participante alavancar sua operação tomando uma posição maior do que seria possível caso o instrumento escolhido fosse o próprio ativo objeto.

Operação financeira: posição conjunta de ativo a vista e opções que é ou se presume ser uma renda fixa, isto é, um encaixe (desencaixe) hoje contra um desencaixe (encaixe) fixo conhecido no vencimento. A única finalidade de uma operação financeira é passar caixa de uma parte para outra se utilizando dos valores dos prêmios. Uma forma de se fazer isso é através da estratégia conhecida como Box de três pontas onde o doador de recursos compra o ativo objeto, compra uma put de determinado strike e vende uma call de mesmo strike e para o mesmo vencimento da put. De acordo com as condições vigentes no mercado, a combinação entre os prêmios da call, da put e o preço do ativo podem possibilitar que o investidor aplique seus recursos a uma taxa atrativa em uma operação de renda fixa já que a compra da put e a venda da call garantem a venda do ativo no vencimento das opções, ou o encaixe futuro.

Estratégia: posições combinadas de opções em proporções diversas com o objetivo de criar um payoff adequado do ponto de vista do operador. Existem inúmeras combinações possíveis e cada uma delas possui um payoff e um nome diferente. A caráter de exemplo podemos citar a operação conhecida como borboleta aonde o investidor toma posição em três opções de strikes distintos para determinado vencimento visando que na data de vencimento o ativo objeto esteja em uma faixa de variação estabelecida pelos strikes escolhidos.



Fonte: Planilha desenvolvida pelo autor.

Operação de volatilidade: compra ou venda de risco ou, de forma geral, especulação com o sobrepreço das opções. O nível de risco embutido no preço de uma opção é medido pela volatilidade implícita desse contrato que é relacionada ao sobrepreço deste. Variações da volatilidade implícita de uma opção são, portanto, variações em reais no preço dessa opção. Segundo da Costa (1998) existem dois motivos que levam um operador a especular sobre a volatilidade implícita de um contrato: a sua oscilação errática; o seu desajuste em relação à volatilidade histórica do ativo objeto. Segundo o primeiro motivo, operadores tomam posições com o objetivo de capturar os movimentos imediatos da volatilidade implícita podendo fazê-lo para uma opção em particular, que observam estar distorcida em relação às demais, ou fazê-lo para todo o mercado de opções podendo eleger uma delas para executar a operação, acreditando que em geral as volatilidades estão fora dos níveis em que deveriam estar. Quanto mais ineficiente for o mercado em questão melhores serão as oportunidades.

Pelo segundo motivo, operadores tomam posições contra o tempo procurando favorecer-se do emagrecimento das opções, ou seja, arbitrando a volatilidade implícita contra o que estimam ser a real volatilidade do ativo objeto. Se o operador estiver certo sobre verdadeiro nível dessa variável, a combinação do efeito “gamma” e do efeito “theta” proporcionará lucro até o vencimento ou até que as volatilidades implícitas voltem a se ajustar. Essa estratégia é conhecida como operação de carregamento.

Uma posição comprada em volatilidade é aquela em que o acréscimo na volatilidade implícita das opções proporciona lucro. Uma posição vendida em volatilidade é aquela em que o decréscimo da volatilidade implícita proporciona lucro. Uma posição comprada em volatilidade possui as seguintes características: é positivamente relacionada ao “gamma”, ou seja, fica-se cada vez mais comprado quando o mercado sobe e cada vez mais vendido quando o mercado cai. Oscilações no preço do ativo objeto tendem a trazer lucro; é negativamente relacionada ao “theta”, ou seja, perde valor com o passar do tempo. A posição vendida em volatilidade, ao contrário, é “gamma” negativa e “theta” positiva. De modo geral o vendedor de volatilidade espera que o mercado oscile menos do que ele vendeu e o comprador de volatilidade espera que o mercado oscile mais.

O ganho obtido em uma operação de volatilidade é calculado multiplicando o número de pontos de volatilidade obtidos com a operação pelo vega da opção, letra grega que mostra qual a alteração no preço da opção para dada alteração na volatilidade implícita do contrato. A formação básica de uma posição em volatilidade é constituída por um lote de opções e um lote contrário em ativo objeto (no caso de uma call), de modo que o delta total da posição seja zero, ou seja, a carteira está protegida contra oscilações no preço do ativo objeto, porém, qualquer posição delta neutra envolvendo ou não o ativo objeto pode ser usada para se comprar ou vender volatilidade. Cada combinação resultará em uma exposição diferenciada as demais gregas: vega, “gamma” e “theta” e cabe ao operador escolher a que melhor se adéqua a sua expectativa sobre o comportamento do mercado.

Uma posição em volatilidade deve ser mantida delta neutra enquanto existir. Isso significa que se o mercado do ativo objeto mudar, e conseqüentemente o delta da opção também, o operador terá de aumentar ou diminuir a quantidade de ativo a vista que equilibra o “hedge”. No caso de uma venda de volatilidade com o preço do ativo objeto subindo, sobe o delta da opção e o peso dos lotes de opção vendida aumenta levando a posição a ficar liquidamente vendida. Para reequilibrá-la, o operador terá que comprar



mais ativo objeto. Por outro lado, se o preço do ativo objeto cai, o delta da opção cai e o peso da ponta de opções diminui levando a posição a ficar liquidamente comprada. Para ajustá-la, o operador terá que vender mais ativo objeto. Para manter a posição delta neutra em uma venda de volatilidade o operador estará sempre comprando ativo caro e vendendo barato, porém, ao mesmo tempo ganha a perda do prêmio de risco da opção com o passar dos dias (efeito “theta”). Se o ativo objeto não apresentar grandes oscilações, a operação será ganhadora já que o efeito “theta” será mais do que suficiente para contrabalancear o resultado negativo obtido com os ajustes do delta da carteira.

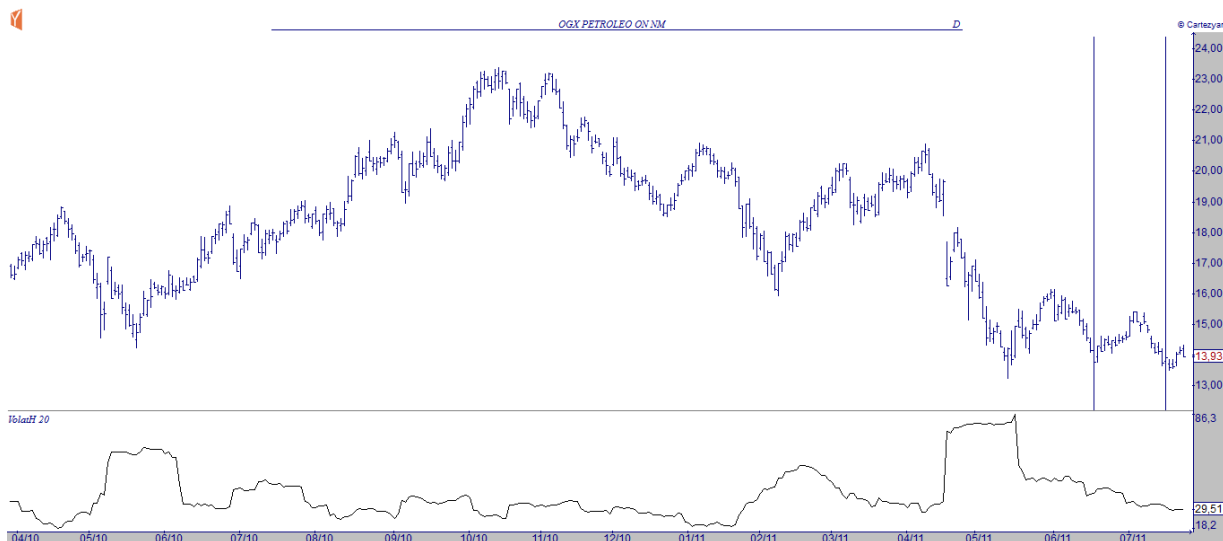
### **3.3. – Arbitragem de volatilidade**

Será apresentada nesta seção uma operação de arbitragem de volatilidade realizada durante o período em que este trabalho estava sendo escrito. Inicialmente será exposta a análise que levou a conclusão da viabilidade da operação, depois uma forma para a realização do balanço de resultados dia a dia e por fim uma análise do mesmo. Utilizamos como fonte de dados os preços de fechamento das ações da OGX e da opção de compra de preço de exercício igual a R\$14,00 (OGXPG14) no período compreendido entre os dias 16/06/2011 e 15/07/2011 disponibilizados pela plataforma Broadcast. Para os juros do período foi utilizada a taxa de 12,25% a.a., meta da SELIC durante o período em que a operação vigorou.

No dia 16/06/2011, após 5 pregões consecutivos de queda que totalizaram uma desvalorização de mais de 11% nos preços das ações da empresa de óleo e gás OGX (OGXP3), a volatilidade implícita da opção de preço de exercício R\$14,00, opção *at the money* naquele momento, abriram para níveis bem elevados negociadas próximo de 47% a.a.. Na mesma data a volatilidade histórica dos últimos 20 pregões do papel era igual a 39,21% e vinha reduzindo-se gradativamente após uma máxima de 86% apresentada em meados de maio após divulgação de um relatório pela empresa sobre suas reservas. Com base na discrepância entre a volatilidade implícita no preço das opções e a volatilidade realizada pelo papel e a tendência da mesma, foi possível montar no dia 16/06/2011 uma operação de carregamento apostando contra o sobrepreço das opções, ou seja, que o risco implícito neste era maior do que o verdadeiro nível de risco presente no mercado. Vendas de volatilidade são especialmente interessantes no mercado brasileiro de opções aonde só existe liquidez para as opções de vencimentos curtos, para um ou dois meses, as quais apresentam altas taxas de emagrecimento em seu sobrepreço causadas pelo efeito “theta” e que em contrapartida onera muito o custo

de carregamento para aqueles que tentam apostar na ponta contrária comprando volatilidade.

Gráfico 3.2: Preço das ações ordinárias da OGX e volatilidade histórica de 20 pregões.



Fonte: Broadcast.

A carteira montada para operação era inicialmente composta por 100.000 opções vendidas e 50.900 ações compradas com as seguintes exposições a cada fator de risco:

Delta inicial da carteira: zero

Gamma inicial: -20.280

Theta inicial: R\$2.037,00

Vega inicial: -R\$1.622,00

A tabela apresentada no final deste capítulo mostra o balanço diário de resultado da operação. O método escolhido para o ajuste do delta da carteira foi realizar um ajuste por dia no preço de fechamento do ativo objeto, o que condiz com o método utilizado para realizar as análises sobre a real volatilidade do preço da ação.

As primeiras três colunas são dados descritivos do mercado; a data, o preço da OGX no dia e o preço correspondente da opção. A quarta coluna contém o delta da OGXPG14 nas condições listadas. A quinta coluna contém a quantidade de ações da OGX utilizadas para o delta hedge (uma aproximação para o lote padrão de negociação do ativo, negociado em múltiplos de 100). A sexta coluna contém o resultado da operação dia a dia obtido pela seguinte fórmula:

$$Resultado_i = (E_{i-1}) \times [(B_i) - (B_{i-1})] - 100.000 \times [(C_i) - (C_{i-1})]$$

Onde:

$(E_{i-1})$  = quantidade de ações utilizada para o hedge no dia anterior

$(B_i)$  = preço da ação hoje

$(B_{i-1})$  = preço da ação no dia anterior

$(C_i)$  = preço da opção hoje

$(C_{i-1})$  = preço da opção no dia anterior

A sétima coluna contém a volatilidade implícita de OGXPG14. Na oitava coluna se encontra o vega da posição em cada dia, isto é, -100.000 vezes o vega de OGXPG14. Na nona coluna está o resultado obtido com a abertura/fechamento da volatilidade implícita, igual a posição vega média vezes a variação na volatilidade, ou:

$$Resultado_{a/f_i} = \frac{(H_{i-1}) + (H_i)}{2} \times [(G_i) - (G_{i-1})]$$

Onde:

$(H_{i-1})$  = vega da posição no dia anterior

$(H_i)$  = vega da posição hoje

$(G_{i-1})$  = volatilidade implícita de OGXPG14 no dia anterior

$(G_i)$  = volatilidade implícita de OGXPG14 hoje

A décima coluna contém o “theta” da posição, ou -100.000 vezes o “theta” de OGXPG14. Na décima primeira coluna está o resultado do efeito “theta”, igual à posição “theta” média vezes a variação de um dia no prazo. A décima primeira coluna contém o resultado do ajuste, calculado pela posição delta média vezes a variação do preço das ações da OGX e dado pela seguinte fórmula:

$$Resultado_{ajuste_i} = \left[ (E_i) - 100.000 \times \frac{(D_i) + (D_{i-1})}{2} \right] \times [(B_i) - (B_{i-1})]$$

Onde:

$(E_i)$  = quantidade de ações utilizada para o hedge hoje.

$(D_i)$  = delta de OGXPG14 hoje

$(D_{i-1})$  = delta de OGXPG14 no dia anterior

$(B_i)$  = Preço as ações da OGX hoje

$(B_{i-1})$  = preço das ações da OGX no dia anterior

O resultado do efeito “theta” é sempre positivo e o resultado do ajuste é sempre negativo, exceto por um dia em que o arredondamento dos lotes de OGX produziu o efeito de um lucro. Um resultado é contrapartida do outro. Valores do resultado do ajuste maiores que valores do emagrecimento no dia significam que a volatilidade diária foi maior que a implícita em que se estava posicionado no dia. A soma da décima primeira e da décima segunda coluna fornece o resultado de carregamento da operação. O valor é positivo na maioria dos dias indicando que a volatilidade realizada pela ação durante o período em que a operação vigorou foi menor do que a volatilidade implícita média em que o operador ficou vendido. Por fim, na última linha da matriz encontram-se as totalizações dos resultados. Enquanto o somatório da sexta coluna contém o resultado da operação calculado sobre os preços de mercado, os somatórios da nona, da décima primeira e da décima segunda coluna são uma análise deste resultado pelo ângulo das variações dos fatores. Teoricamente o valor do somatório da sexta coluna tem que ser igual à soma dos somatórios da nona, da décima primeira e da décima segunda coluna. Na prática há uma diferença de R\$571,31 entre os dois termos da igualdade que pode ser considerada desprezível.

Data	OGXP3	OGXPG14	Delta	Quantidade	Resultado	Vol implicita (%)	Vega	Result. vol implicita	Theta	Efeito theta	Result. Ajuste
16/06/2011	13,77	0,72	0,5090	50900		46,95	-1.622,72		2.037,19		
17/06/2011	14,29	0,83	0,6322	63200	15468,00	36,66	-1.554,51	16.350,08	1.755,53	1.896,36	-3.191,85
20/06/2011	14,1	0,84	0,5756	57600	-13008,00	45,86	-1.556,14	-14.317,73	2.137,88	1.946,71	-530,13
21/06/2011	14,5	0,93	0,6872	68700	14040,00	36,42	-1.410,08	13.999,19	1.790,74	1.964,31	-2.223,34
22/06/2011	14,35	0,87	0,6400	64000	-4305,00	40,51	-1.434,82	-5.814,74	2.018,75	1.904,74	-354,12
24/06/2011	14,47	0,89	0,6794	68000	5680,00	37,67	-1.345,00	3.953,25	1.924,69	1.971,72	-243,43
27/06/2011	14,31	0,85	0,6254	62500	-6880,00	43,91	-1.366,89	-8.468,45	2.269,39	2.097,04	-438,32
28/06/2011	14,46	0,89	0,6699	67000	5375,00	41,27	-1.277,71	3.494,60	2.185,31	2.227,35	-335,30
29/06/2011	14,53	0,85	0,7121	71200	8690,00	35,74	-1.168,34	6.766,79	1.952,77	2.069,04	-146,92
30/06/2011	14,59	0,87	0,7351	73500	2272,00	35,37	-1.085,28	412,65	1.955,43	1.954,10	-68,55
01/07/2011	15,1	1,35	0,8043	80400	-10515,00	46,10	-910,61	-10.706,36	2.273,77	2.114,60	-1.751,41
04/07/2011	15,39	1,43	0,9193	91900	15316,00	35,00	-481,40	7.724,45	1.380,51	1.827,14	-1.660,23
05/07/2011	15,08	1,2	0,8883	88800	-5489,00	33,45	-571,16	817,17	1.548,01	1.464,26	-488,81
06/07/2011	15	1,1	0,9002	90000	2896,00	30,87	-496,75	1.378,55	1.454,73	1.501,37	46,04
07/07/2011	15,08	1,13	0,9258	92600	4200,00	30,87	-377,09	0,00	1.349,78	1.402,25	-103,83
08/07/2011	14,82	0,92	0,8686	86900	-3076,00	33,03	-526,32	-975,98	1.822,64	1.586,21	-734,06
11/07/2011	14,37	0,44	0,8509	85100	8895,00	18,21	-514,91	7.713,54	1.354,37	1.588,51	-394,54
12/07/2011	14,09	0,26	0,6063	60600	-5828,00	24,46	-763,50	-3.996,96	2.270,38	1.812,37	-3.433,12
13/07/2011	14,12	0,3	0,6119	61200	-2182,00	31,09	-681,59	-4.791,54	3.054,64	2.662,51	-8,67
14/07/2011	13,73	0,08	0,2926	29300	-1868,00	29,51	-514,90	945,72	2.724,13	2.889,38	-6.209,92
15/07/2011	13,9	0,12	0,4195	42000	981,00	32,25	-483,92	-1.367,10	4.179,32	3.451,72	-1.087,64
				<b>Total</b>	<b>30662,00</b>			<b>13.117,15</b>		<b>40.331,71</b>	<b>-23.358,16</b>

Tabela 3.1: Balanço de resultado.

## CONCLUSÃO

Observando a tabela 3.1 podemos tirar as seguintes conclusões. Existem distorções significativas para serem operadas no prêmio de risco implícito nos preços das opções negociadas no mercado de ações local e apesar de atualmente existirem modificações que aprimoraram o modelo proposto por Black and Scholes na década de 1970, o mesmo se mostra eficiente na identificação de tais distorções e no hedge da carteira montada para operá-las. Contudo, vale ressaltar que tal estratégia necessita de um bom entendimento do verdadeiro nível de risco a qual o mercado está submetido, ou em outras palavras, uma boa estimativa da volatilidade futura do preço do ativo. Apesar do exemplo apresentado ter se mostrado bem sucedido, um operador que utilizasse os mesmos instrumentos, porém, tomasse a decisão contrária (comprar volatilidade) ou decidisse vendê-la no quinto dia que antecedeu o encerramento da operação apresentada, incorreria em prejuízo. Em outras palavras, embora a estratégia tenha apresentado resultado positivo para a ação e o período que foram analisados neste trabalho, de forma alguma podemos concluir que essa estratégia sempre será bem sucedida.

Também podemos depreender da operação analisada a exatidão do método de balanço de resultado proposto através do qual ficaram evidentes as origens do resultado positivo obtido no final da operação. Dos R\$30.662,00 obtidos atribui-se R\$13.117,15 ao fechamento da volatilidade implícita da opção operada e o restante ao carregamento positivo da carteira já que a volatilidade implícita média da opção durante o tempo em que a operação vigorou foi superior a volatilidade do ativo objeto neste período, situada próximo a 31%. O resultado disso foi um valor obtido com o emagrecimento da carteira substancialmente maior que a perda incorrida nas operações feitas para zerar seu delta. Outro ponto que favoreceu o resultado ganhador da operação foi o fato do vega da carteira não ter sofrido reduções por conta de um distanciamento do preço do ativo objeto do preço de exercício da opção, reduzindo-se no decorrer da estratégia apenas por conta do efeito negativo que a diminuição da maturidade do contrato tem sobre essa taxa de variação.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALEXANDER, Carol. Market Models: A guide to financial data analysis. London, John Wiley & Sons 2001.

CHANCE, Don – Essays in Derivatives. Chicago, John Wiley & Sons, 1998.

DA COSTA, Cesar Lauro. Opções: Operando a volatilidade. São Paulo, Bolsa de Mercadorias e Futuros, 1998.

DUBIL, Robert. An arbitrage guide to financial markets. London, John Wiley & Sons, 2004.

GATHERAL, Jim. The Volatility Surface: A practitioner's guide. New Jersey, John Wiley & Sons, 2006.

HULL, John C. Options, futures and other derivatives. New Jersey, Pearson Prentice Hall, 2005

JAVAHERI, Alireza. Inside volatility arbitrage: the secrets of skewness. New Jersey, John Wiley & Sons, 2005.

JPMORGAN, Risk Metrics – Technical document. Third Edition. Morgan Guaranty Co., 1995.

KATZ, Jeffrey Owen. The encyclopedia of trading strategies. New York, McGraw-Hill, 2000.

MARINS, André. Mercados Derivativos e análise de Risco. São Paulo, AMS Editora, 2009.

NATENBERG, Sheldon. Option volatility and pricing. New York, McGraw-Hill, 1994.

SINCLAIR, Euan. Volatility trading. New Jersey, John Wiley & Sons, 2008.

TALEB, Nassim Nicholas. Dynamic hedging. New York, John Wiley & Sons, 1997.

WILMOTT, Paul. Introduces Quantitative Finance. London, John Wiley & Sons, 2007.