

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO  
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM FINANÇAS

Influência da Incerteza da Expectativa de Dados Macroeconômicos Futuros do Brasil  
sobre a Volatilidade Implícita

Luis Felipe Oliveira

TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM  
FINANÇAS

Porto Alegre, agosto de 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO  
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM FINANÇAS

Influência da Incerteza da Expectativa de Dados Macroeconômicos Futuros do Brasil  
sobre a Volatilidade Implícita

Luis Felipe Oliveira

Trabalho de conclusão do curso de Especialização em Finanças

Professor Orientador: Marcelo Perlin

Porto Alegre, agosto de 2014

### **Resumo**

Este trabalho tem por finalidade verificar se a volatilidade implícita, calculada a partir do modelo Black-Scholes, reflete o nível de incerteza dos analistas sobre premissas macroeconômicas no futuro. Para tanto, foi analisado o Índice Bovespa e suas respectivas opções de compra com de negociação ao longo de 2012, bem como as opiniões dos analistas publicadas neste mesmo período. Os resultados obtidos através da análise de regressões com dados de periodicidade diária de todas as opções com pelo menos 5 negociações no dia indicam que há evidências estatísticas de que quanto maior a incerteza de premissas macroeconômicas, maior a volatilidade implícita do Ibovespa.

**Palavras Chave:** Volatilidade implícita, opções, Black-Scholes, nível de incerteza.

### **Abstract**

This study aims to verify if the implied volatility, calculated from the Black and Scholes model, reflects the analysts level of uncertainty on macroeconomic assumptions about the future. To this end, we analyzed the Índice Bovespa and its call options trading throughout 2012, as well as the opinions of the analysts published in the same period. The results obtained by applying the analysis of regressions with daily returns data of all options with at least 5 negotiations per day, indicate that there is statistical evidence that the higher the uncertainty of macroeconomic assumptions, the higher the implied volatility of the Índice Bovespa.

**Key words:** implied volatility, options, Black-Scholes, level of uncertainty.

## 1. Introdução

O amadurecimento do mercado de capitais brasileiro acelerou a partir da implementação do Plano Real na recente década de 90. Foi o momento da estabilização da economia nacional e da evolução de produtos e instrumentos financeiros. Caracterizado por ser um mercado emergente e de grande volatilidade, o Brasil passa a ser um local para atração de investimentos internacionais, para diversificação, *hedge*, etc.

O sistema financeiro ganha maior importância para o crescimento da economia, evoluindo da restrita priorização de políticas monetárias e fiscais (Gabe, 2003). Como consequência disso, o paradigma de investimento em ativos reais começa a ser revisto, abrindo espaço para a evolução de instrumentos financeiros antes pouco utilizados e estudados no país.

Um desses é o mercado de opções, que ainda hoje carece ser explorado e pesquisado pelos investidores brasileiros. Sendo um tipo de contrato futuro, onde há um compromisso de comprar ou vender um determinado ativo em uma data e preço pré-estabelecidos no futuro, as opções surgiram como um instrumento de *hedge* (proteção) para produtores e comerciantes. A partir daí, há o desdobramento da utilização desse instrumento em diversas estratégias com diferentes finalidades.

A história do mercado de opções tem início no continente europeu e norte americano no século XVIII. No início do século XX foi instituída a Associação dos Corretores de Opções de Compra e Venda, cujo objetivo era profissionalizar o mercado, facilitando transações entre compradores e vendedores. Entretanto, sua popularidade iniciou com a criação da Chicago Board of Trade, uma bolsa para negociação de derivativos (Hull, 1994).

O termo derivativo, ou produto derivativo, pode ser definido como um título cujo valor é diretamente dependente de outra variável (Hull, 1994). No caso de opções, estas variáveis são conhecidas como ativo objeto, e pode ser tanto ações de empresas, como índices, moedas, *commodities*, contratos ou outros instrumentos. Uma opção de Petrobras é um derivativo por ter seu preço dependente do valor da ação da empresa.

Merton (2006) relata que a teoria de precificação de opções inicia com o matemático francês Louis Bachelier, inspirado no movimento Browniano, já em 1900. Dos diversos modelos de precificação de opções, um dos que foram largamente debatidos no meio acadêmico e profissional foi o desenvolvido por Black e Sholes (1973). Lanari, Souza e Duque (1999) afirmam que este modelo teve sua popularidade devido a sua simplicidade de cálculo, associada ao fato da precificação ocorrer através de uma fórmula com a maioria das variáveis observáveis. Preço do ativo subjacente, taxa livre de risco da economia, preço de exercício, prazo de vencimento do contrato e volatilidade do ativo subjacente. Destes, apenas a volatilidade não é diretamente observável, portanto, estimada.

Segundo Hull (1994), a volatilidade implícita (VI) pode ser considerada como o grau de incerteza quanto ao fluxo de caixa futuro da ação. Isto quer dizer que quanto menor a previsibilidade (maior incerteza) maior será o retorno exigido pelo investidor, portanto, maior o preço da opção. Ao passo que, quanto maior a previsibilidade (menor incerteza), menor será o retorno exigido pelos investidores, assim, menor o preço da opção.

Para Vicente e Guedes (2010), a volatilidade implícita representa a expectativa dos agentes do mercado somada a um prêmio de risco. Por expectativa, poderíamos interpretar como uma previsão de eventos econômicos futuros, com influência sistêmica (mercado em geral) e não sistêmica (empresa). Prêmio de risco é o retorno excedente de um investimento, acima de uma taxa com retorno livre de risco.

Estudos recentes procuraram encontrar correlação entre a VI e outras variáveis. Fernandes (2012) testou para o período de agosto de 2007 a maio de 2012 quais divulgações econômicas alteram a volatilidade implícita de opções de Juros (IDI). Das variáveis pesquisadas (taxa de juros, relatório trimestral de inflação, variação do PIB, etc.), as com maior influência são a reunião do COPOM, quando há divulgação de taxas diferentes da esperada; e de suas Atas, quando não há surpresa no mercado.

Vicente e Guedes (2010) verificaram para o período de janeiro de 2006 a dezembro de 2008 se a volatilidade implícita das opções da Petrobras contém algum prenúncio sobre a volatilidade futura. Como resultado, a VI de ações OTM (*out the money*) possui maior correlação com a volatilidade futura do que a volatilidade histórica.

Este artigo visa verificar se a incerteza dos agentes do mercado a respeito da expectativa de premissas macroeconômicas é refletida na volatilidade implícita de opções. Desta forma, foi pesquisado o nível de consenso de dados macroeconômicos (PIB e inflação) na pesquisa semanal FOCUS, divulgada pelo Banco Central, e as opções de compra (*Call*) sobre Índice Bovespa para diferentes períodos.

Se considerarmos hipótese sobre expectativas racionais, onde os agentes de mercado fazem uso de todas as informações disponíveis sobre dados atuais e previsões dos do futuro e, a partir disto, estes reagem no presente em conformidade com suas suposições, poderíamos considerar que quanto maior a incerteza a respeito indicadores macroeconômicos no futuro, maior seria a volatilidade implícita das opções.

As próximas seções estão assim organizadas. Primeiramente será explorada a revisão teórica, fundamentando o trabalho. Após será apresentada a metodologia utilizada, para testar a hipótese proposta. A partir disto serão aplicadas as técnicas, apuração dos resultados e comparações. Por fim, faz-se um fechamento com conclusões e sugestões para novas pesquisas.

## 2. Referencial Teórico

Opções são instrumentos financeiros do tipo derivativos. Esta classificação decorre da característica de seu preço depender do valor de outro ativo (ativo objeto ou subjacente). Verifica-se ainda que Opções são efetivamente contratos, que dão o direito e não a obrigação, de ser executado a qualquer tempo por seu detentor (comprador ou tomador) até a data de vencimento (opções americanas) ou apenas na data de vencimento (opções europeias).

Dependendo do tipo de opção, ela dá a seu detentor o direito de compra ou venda do ativo objeto. Ross (2002) define opções de compra (*call*) como o direito do detentor do contrato de comprar o ativo subjacente em uma data futura a um preço pré-estabelecido. Já as opções de venda (*put*) têm por característica prover ao seu tomador, o direito de venda do ativo objeto em uma data futura a um preço pré-estabelecido. Logicamente, os vendedores dos contratos de opções (lançadores), devem, no caso de execução do contrato, vender o ativo objeto (no caso de opções de compra) ou comprar o ativo objeto (no caso de opções de venda) ao preço pré-determinado pelo contrato.

No que tange os fatores que afetam o preço das opções (prêmio), Ross (2002) explica que estes podem ser divididos em dois grupos. O primeiro refere-se às características do próprio contrato, como o preço de exercício e a data de vencimento. O segundo grupo de fatores que afetam o preço da opção envolve o preço da ação e o mercado. Percebe-se assim, a complexidade de precificar este instrumento que influencia-se por diversas variáveis.

Para Hull (1994) os fatores que afetam os preços das opções são os seguintes:

- a. Preço da ação: cotação do ativo objeto no mercado;
- b. Preço de exercício do contrato: preço da opção na data de vencimento;
- c. Tempo para vencimento do contrato: quantidade de dias até a expiração do contrato;
- d. Volatilidade do preço da ação: medida de incerteza quanto à oscilação esperada do ativo subjacente;
- e. Taxa de juros livre de risco do mercado: remuneração do dinheiro no mercado em investimentos sem riscos; e
- f. Dividendos esperados da ação: distribuição de lucros aos detentores de ações.

Hissa (2007) observa que o preço de uma opção é chamado de prêmio e pode consistir em valor intrínseco, valor extrínseco ou uma combinação de ambos. Por valor intrínseco entende-se pelo resultado da subtração do preço da ação pelo preço de exercício da opção (*strike*), também conhecido como “valor verdadeiro”. Já o valor extrínseco é o resultado do valor do prêmio da opção, deduzido do valor intrínseco, também conhecido por “valor tempo”.

Neste momento, faz-se necessário perceber que dependendo o preço de exercício da opção e do preço da ação, a opção pode não ter valor intrínseco. Caso o preço da ação

seja maior do que o *strike* da opção, dizemos que a opção está dentro do dinheiro (*in the Money – ITM*). Caso a relação seja inversa, a opção está fora do dinheiro (*out the Money – OTM*). Caso os valores sejam iguais, a opção está no dinheiro (*at the Money – ATM*).

Hissa (2007) adverte que para opções OTM e ATM, seu valor intrínseco é nulo. Neste caso, o prêmio da opção consiste apenas em seu valor tempo (valor extrínseco).

Até o momento, tratamos a precificação de opções em termos qualitativos, agora, será apresentado um sistema quantitativo para derivar os fatores que determinam o valor de uma opção. Dumas, Fleming e Whaley (1998) afirmam que o preço de uma opção depende da expectativa da volatilidade futura, e também de sua fórmula de precificação.

O modelo de precificação de opções pioneiro no meio acadêmico e profissional foi o desenvolvido em 1970 por Fischer Black e Myron Scholes.

Hull (1994) explica que Black e Scholes partiram das seguintes premissas para derivar a fórmula de precificação de opções:

- a. O comportamento do ativo objeto segue uma distribuição lognormal: a cotação da ação no mercado segue um movimento aleatório, portanto, normalmente distribuídas, além de apresentar apenas valores positivos;
- b. Não há custos de transação e impostos;
- c. Não há distribuição de dividendos até o vencimento da opção;
- d. Negociação contínua dos contratos;
- e. Os investidores emprestam e tomam emprestados à mesma taxa de juros livre de risco; e
- f. A taxa de juros livre de risco é constante no curto prazo.

A partir disto, a fórmula de Black-Scholes para precificar opções de compra e venda europeias é a seguinte:

$$C = N(d_1) \cdot S - N(d_2) \cdot K e^{-r(T-t)}$$

$$P = C + K e^{-r(T-t)} - S$$

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

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

Segundo Ross (2002), esta é uma das fórmulas mais complexas em finanças, todavia, origina-se a partir de apenas cinco parâmetros, são eles:

- a.  $S$  = preço da ação;
- b.  $E$  = preço de exercício da opção;
- c.  $r$  = taxa de retorno livre de risco;
- d.  $\sigma^2$  = variância (anual) da taxa de retorno da ação (volatilidade do preço da ação); e
- e.  $t$  = prazo (em anos) até o vencimento da opção.

Salienta-se ainda que “ $C$ ” é o preço de opções de compra e “ $P$ ” o preço de opções de venda, originados de sua nomenclatura em inglês, *Call* e *Put* respectivamente. Hull (1994) explica que a função  $N(x)$  é a probabilidade de uma variável aleatória padrão, distribuída normalmente, possua valor menor que  $x$ .

Das variáveis constantes na fórmula de Black-Scholes, a única não observável diretamente é a volatilidade. Quando da precificação de opção, utiliza-se a volatilidade histórica para cômputo da fórmula. Entretanto, é interessante observar que, dado que temos o preço da opção nas negociações diárias, poderíamos utilizá-la para descobrir a volatilidade, que neste caso, recebe o nome de *volatilidade implícita*.

Hull (1994) aponta que, infelizmente, não é possível inverter a equação, isolando o valor  $\sigma$ . Porém, pode-se utilizar o procedimento de tentativa e erro para encontrar o  $\sigma$  implícito que faz o valor da opção igualar-se à cotação no mercado.

Para Hissa (2007) a volatilidade implícita é a expectativa do mercado inserida no valor extrínseco das opções. Hull (1994) afirma que a VI pode ser utilizada para controlar a opinião do mercado a respeito da volatilidade de determinada ação. O autor observa ainda, que uma opção pode ter concomitantemente muitas volatilidades implícitas para diferentes opções da mesma ação, a partir daí, permite-se calcular uma média ponderada para obter uma VI composta para a ação.

Dada a hipótese da volatilidade implícita servir como previsão da volatilidade da ação em algum momento no futuro, levando em consideração a expectativa do mercado, muitos estudos buscam testar esta teoria.

Mello (2009) buscou explorar a capacidade de previsão do mercado sobre a volatilidade futura tendo como base as opções das empresas Petrobras e Vale. A escolha por utilizar apenas opções de compra, o uso de contratos de no máximo para os dois vencimentos próximos e de opções no dinheiro, foi utilizada devido ao fato da maior liquidez destes contratos. Como resultado, o autor constatou que, mesmo que viesada, a volatilidade implícita das opções estudadas contém informações consideráveis a respeito da volatilidade realizada no futuro.

Para Gabe (2003) a conclusão foi parecida. Ele avaliou qual seria o previsor mais adequado para determinar a volatilidade futura, volatilidade implícita ou estatística. O estudo foi elaborado a partir das opções da Telemar entre os anos de 2000 e 2002 e suas ações entre o período de 1998 e 2002. Como resultado, o autor concluiu que a

volatilidade implícita possui maior assertividade da volatilidade futura do que a volatilidade estatística. Novamente, houveram indícios de que a VI é viesada.

Vicente e Guedes (2010) utilizaram as opções de compra da Petrobras entre o período de 2006 e 2008 para calcular a volatilidade implícita e comparar com a volatilidade realizada em período posterior. Seu estudo indicou que a volatilidade implícita das opções fora do dinheiro possui maior correlação com a volatilidade futura do que a volatilidade histórica.

Já Becker, Clements e White (2006) testaram se o índice de volatilidade implícita do S&P 500 (VIX) contém alguma informação relevante sobre a volatilidade futura, além das geradas através de modelos preditivos, GARCH por exemplo. Sua conclusão foi de que a volatilidade implícita do S&P 500 não possui informações adicionais sobre a volatilidade futura quando comparada às informações já detectadas através de outros modelos de previsões.

Christensen e Prabhala (1997) verificam se a volatilidade implícita das opções do índice S&P 100 antecipa a volatilidade realizada. Como resultado, os autores verificaram que a volatilidade implícita pode prever a volatilidade futura isoladamente, da mesma forma que em conjunto com a volatilidade passada. Seus resultados mostraram que opções de compra *at the Money*, quanto utilizadas as premissas adequadas, podem prever a volatilidade futura.

Blair, Poon e Taylor (2010), a partir de dados de baixa frequência utilizando o modelo ARCH, não encontraram informações incrementais nos retornos diários além das já evidenciadas através da volatilidade implícita do S&P 100. Entretanto, para os dados amostrais de alta frequência, foram encontradas algumas informações incrementais providas pela volatilidade implícita.

Andrade e Tabak (2001) avaliaram a relação entre a volatilidade implícita de opções da taxa de dólar-real (negociadas na BMF&Bovespa) com a volatilidade futura para o período de fevereiro de 1999 e junho de 2000. A volatilidade implícita foi obtida através do modelo de precificação de Garman-Kohlhagen. Os resultados encontrados demonstraram que, embora seja um estimador com viés da volatilidade futura, ela pode indicar informações sobre a volatilidade, as quais não são contempladas através de retornos passados.

Fleming (1998) investiga em sua pesquisa se a volatilidade implícita das opções do índice S&P 100 representa uma previsão imparcial da volatilidade do mercado de ações e se o erro de previsão é ortogonal junto às informações de mercado. Foi verificado que, tanto a volatilidade implícita de opções de compra quanto de venda, apresentam previsões com viés. No entanto, a volatilidade implícita poderia ser utilizada para três formas de pesquisa. A primeira como um simples índice de sentimento do mercado, a exemplo do índice de volatilidade do CBOE, o qual tem como base a volatilidade implícita do S&P 100, poderia prover uma medida de volatilidade esperada pelo mercado. Em segundo lugar, em virtude da volatilidade implícita ser fortemente ligada à

expectativa de volatilidade do mercado, poderia ser usada como um método alternativo para avaliar os modelos de precificação de ativos. Por último, foram encontrados indícios de que a volatilidade implícita está relacionada com os retornos esperados.

Koopman, Junkbacher e Hol (2004) buscaram descobrir qual a melhor alternativa para prever a volatilidade. Neste estudo foram comparadas a volatilidade histórica (obtidas em séries diárias), volatilidade implícita (obtidas através do preço de opções) e volatilidade realizada (obtida através de retornos intradiários). Os resultados do estudo demonstraram que, para o período de 2001 até 2003, o uso da volatilidade realizada é o mais preciso para a previsão de volatilidade do índice S&P 100.

Dumas, Fleming e Whaley (1998), para o período entre junho de 1988 e dezembro de 1993, compararam o comportamento preditivo e de proteção da volatilidade implícita pelo modelo de precificação de opções pela função de volatilidade determinística (DVF – sigla em inglês) e pelo modelo do Black-Scholes (1973). A primeira conclusão que chegaram foi de que o modelo de Black-Scholes tem maior aderência em amostras que seguem o *Akaike Information Criterion (AIC)*. Em segundo lugar, o modelo DVF é mais impreciso nas funções das opções quando utilizadas em volatilidades adaptadas de uma semana depois. E em terceiro lugar, o modelo Black-Scholes determina taxas de proteção mais confiáveis que o modelo comparado.

A literatura que busca quantificar a precisão da volatilidade implícita em prever a volatilidade futura é bastante densa. Seguindo a qualificação preditiva da volatilidade implícita, talvez este indicador possa apontar indícios de eventos de *stress* futuros.

Gomes (2002) analisou a volatilidade implícita das opções da Telebrás e do Dólar Comercial para testar se este indicador pode antecipar eventos de *stress* no mercado nacional. Como resultado, observou-se que a volatilidade implícita possui conteúdo informacional considerável a cerca de retornos anormais no futuro.

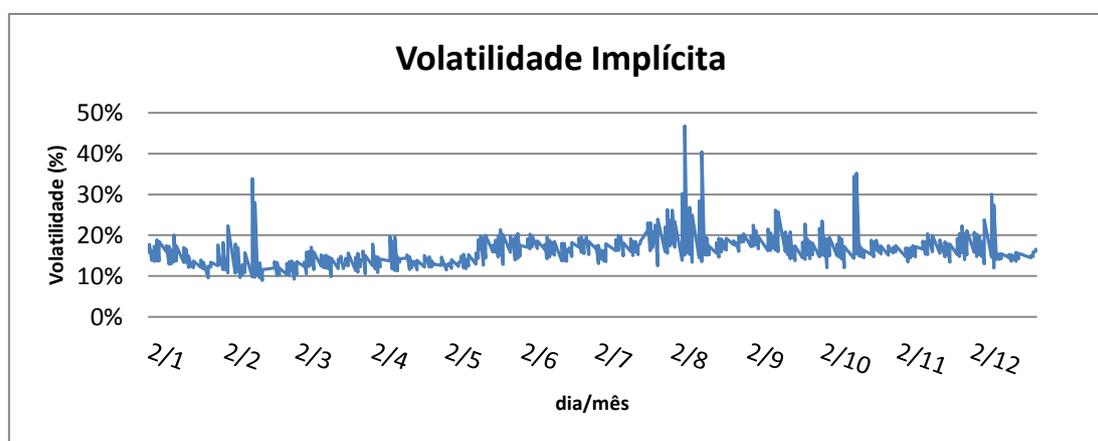
No próximo capítulo, serão explorados a descrição de dados e metodologia utilizada para organização e interpretação dos dados.

### **3. Descrição dos Dados e Procedimentos Metodológicos**

Com o objetivo de testar se a volatilidade implícita pode refletir uma expectativa do comportamento do mercado no futuro, foi utilizado como base para apuração da VI as opções de compra (*call*) do tipo americanas sobre o índice Ibovespa, negociados na BMF&Bovespa. De acordo com a empresa, o objetivo do índice é refletir o comportamento médio das cotações dos ativos de maior liquidez do mercado, justificando assim, a escolha desse para a presente análise.

Os dados coletados foram diários e com negociação de janeiro de 2012 a dezembro de 2012, lembrando que, dependendo da opção, seu vencimento pode ser no ano de 2013. Para que fosse possível o cálculo da volatilidade implícita, foi necessário que a pesquisa incluísse as seguintes informações a cerca dos ativos: data de negociação da opção, a fim de saber qual a taxa DI para o dia; preço médio de negociação durante o dia, expresso em pontos, informação fundamental, dado que é o valor alvo a ser encontrado no modelo de precificação alterando apenas a VI; preço de exercício, valor do contrato na data de vencimento; data de vencimento, juntamente com a data de negociação, foram as chaves para relacionar a VI com as expectativas macroeconômicas; preço do IBOV expresso em pontos e taxa DI, representando a taxa de juros livre risco.

**Gráfico 1 – Volatilidade implícita do IBOVESPA em 2012**



O Gráfico acima evidencia o comportamento da volatilidade implícita a partir das opções do Índice Bovespa ao longo de 2012. Percebe-se que média da VI foi de 16,11%. A maior VI foi registrada em 07/08, chegando a 46,77%, mesmo sendo um dia aparentemente sem divulgação grandes novidades no mercado, que fechou o dia em queda de aproximadamente 1%. Já a menor VI registrada foi em 17/02, com 8,96%, quando o IBOV terminou o dia praticamente estável, com leve alta de 0,09%.

Os dados que tangem as informações sobre as opções e seu respectivo ativo objeto tiveram como fonte a própria BMF&Bovespa. As informações sobre a taxa DI, foram extraídas da Cetip (Central de Custódia e Liquidação Financeira de Títulos), empresa de capital aberto e maior câmara depositária de ativos privados no Brasil.

Com essas informações e com a utilização do modelo Black- Scholes, foi mensurada a VI, variável faltante na fórmula de precificação. Esse modelo também foi utilizado para avaliação da volatilidade implícita em Gomes (2002), Corrado e SU (1997), Cifarelli (2002), Dumas, Fleming e Whaley (1998), Viente e Guedes (2010), dentre outros.

Por julgar que a análise poderia ser prejudicada pela baixa liquidez de alguns dias de negociação, optou-se por utilizar os contratos que apresentassem no mínimo cinco negociações no dia<sup>1</sup>, mesmo que houvesse redução da massa de dados. Assim, foram calculadas 1.863 volatilidades implícitas, cada uma representando um determinado dia de negociação para cada série analisada.

Considerando que a expectativa de comportamento do mercado no futuro, leve em consideração premissas macroeconômicas, foi utilizado a pesquisa semanal FOCUS, divulgada pelo Banco Central, para identificar o consenso sobre o comportamento das premissas no futuro. Essa pesquisa (ou boletim) contém uma série de projeções sobre a economia nacional de acordo com a opinião dos principais analistas e instituições financeiras do país, que opinam sobre a perspectiva do comportamento de indicadores brasileiros. Os indicadores utilizados para o presente trabalho foram os seguintes:

**Quadro 1 – Definição dos Indicadores**

<b>Índice</b>	<b>Descrição</b>	<b>Responsável</b>
IGP-DI	Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna	FGV
IGP-M	Índice Geral de Preços do Mercado	FGV
INPC	Índice Nacional de Preços ao Consumidor	IBGE
IPA-DI	Índice de Preços por Atacado - Disponibilidade Interna	FGV
IPA-M	Índice de Preços por Atacado do Mercado	FGV
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo	IBGE
IPCA-15	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo	IBGE
IPC-FIPE	Índice de Preços ao Consumidor	USP/FIPE
PIB	Produto Interno Bruto	IBGE
PIB Agropecuária	Produto Interno Bruto – Setor Agropecuário	IBGE
PIB Industrial	Produto Interno Bruto – Setor Industrial	IBGE
PIB Serviços	Produto Interno Bruto – Setor de Serviços	IBGE

Foi utilizado o desvio padrão das opiniões dos analistas consultados a fim de verificar o consenso a cerca dos dados macroeconômicos. As datas de divulgações das pesquisas também compreendem o período de janeiro de 2012 a dezembro de 2012 e as expectativas chegam a 2013, da mesma forma que o vencimento das opções.

Espera-se que, quanto maior o desvio padrão em relação às opiniões, maior a incerteza sobre o futuro, maiores são os riscos dos investimentos e, portanto, maior a volatilidade implícita para os ativos com vencimento nessas datas.

<sup>1</sup> Também foram realizados testes aumentando o filtro de número de negociações, verificou-se que a relação entre as variáveis estudadas tronam-se mais fortes.

Dessa forma, podemos dividir a pesquisa de dados em dois grandes grupos. O primeiro é composto pelos históricos de negociação do índice futuro do Ibovespa e de suas respectivas opções. E o segundo formado pela pesquisa dos dados macroeconômicos.

Tendo em vista a proposta do presente trabalho em relacionar a volatilidade implícita de opções, em relação ao desvio padrão do consenso de premissas macroeconômicas futuras, procurou-se utilizar um modelo que permitisse tal comparação, bem como, fosse amplamente empregado em outros trabalhos.

Assim como Gabe (2003), Gomes (2002), Fernandes (2012), Becker, Clements e White (2006), Christensen e Prabhala (1997), apenas para citar alguns, o modelo utilizado para comparar as variáveis partiu de uma regressão linear simples ou múltipla. Isso tem como objetivo verificar a intensidade da variação da VI nas mesmas datas da divulgação do relatório FOCUS e com as mesmas datas de vencimento dos contratos e de previsão dos analistas. A expectativa é de que quanto maior o desvio padrão das opiniões dos entrevistados, maior a volatilidade implícita das opções.

Adaptando o modelo tradicional de regressão linear simples para a análise conjunta de diferentes variáveis, chega-se à expressão abaixo:

$$\sigma Volimp_t = \alpha_t + \sum_{i=1}^{11} \beta_i \sigma Pmacro_i + \varepsilon_t \quad (\text{Equação 1})$$

Onde  $\sigma Volimp$  é a volatilidade implícita das opções, sendo a variável dependente a ser explicada.  $\alpha$  é um dos coeficientes de regressão,  $\sum_{i=1}^{11} \beta_i \sigma Pmacro_i$  é o somatório dos coeficientes de regressão e dos desvios padrões dos 11 indicadores das expectativas futuras das premissas macroeconômicas, representando as variáveis independentes, portanto, explicativas. Por último, o  $\varepsilon$  representando possíveis resíduos.

A partir desse modelo, busca-se verificar quais variáveis possuem relação com a volatilidade implícita das opções estudadas, com qual intensidade e direção.

#### 4. Apresentação e Análise dos Resultados

Com os dados selecionados, a volatilidade implícita calculada e o modelo estatístico escolhido, foi possível aplicar a metodologia proposta. A expectativa é de rejeitar a hipótese nula, evidenciando que não é possível rejeitar a hipótese de quanto maior a incerteza do mercado com relação à expectativa de premissas macroeconômicas no futuro, maior o risco do mercado, maior o prêmio de risco do investidor e, portanto, maior a volatilidade implícita.

O primeiro teste realizado foi o de correlação entre os desvios padrões das variáveis independentes. O objetivo é analisar o relacionamento entre as variáveis no período. Verifica-se que a maior correlação foi entre as variáveis IPCA e IPCA-15, com mais de

82% de correlação. Ao passo que o relacionamento entre o IPCA e o IPA-DI foi cerca de 0,3%, justificando as variáveis que menos relacionam-se.

**Tabela 1 – Matriz de correlação entre os desvios padrões das variáveis independentes**

	IGP-DI	IGP-M	INPC	IPA-DI	IPA-M	IPCA	IPCA-15	IPC-FIPE	PIB AGRO	PIB IND	PIB SERV	PIB TOTAL
IGP-DI	1											
IGP-M	0,812036	1										
INPC	0,051537	-0,11886	1									
IPA-DI	0,697504	0,641563	0,158037	1								
IPA-M	0,646251	0,7335	0,278214	0,70294	1							
IPCA	-0,1175	-0,22362	0,435839	0,003069	0,05366	1						
IPCA-15	-0,04036	-0,10819	0,628813	-0,01606	0,154159	0,824496	1					
IPC-FIPE	-0,25722	-0,27776	0,45078	-0,28059	-0,17809	0,593475	0,70621	1				
PIB AGRO	0,495693	0,407855	-0,19219	0,312631	0,197188	0,322192	0,148691	-0,08642	1			
PIB IND	-0,02717	-0,04481	0,42909	0,092876	0,315624	0,423242	0,441576	0,400024	-0,18477	1		
PIB SERV	-0,30281	-0,23301	0,39759	-0,3247	0,135256	0,214949	0,362302	0,291116	-0,35917	0,611156	1	
PIB TOTAL	-0,30259	-0,39546	0,510574	-0,11446	0,013776	0,486872	0,426195	0,267514	-0,21767	0,474462	0,55539	1

O segundo teste buscou aplicar a equação 1, relacionando cada indicador separadamente com a volatilidade implícita do Índice Bovespa (regressão linear simples). A tabela abaixo visa verificar a adequação do modelo aos dados.

**Tabela 2 – Resultado estatístico regressão linear simples**

Indicador	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	R-Quadrado Ajustado
IGP-DI	0,674	0,023	29,531	1,6191E-157	0,31908203
IGP-M	0,544	0,015	35,144	5,7843E-208	0,39892067
INPC	-0,348	0,022	-15,514	3,83888E-51	0,11452308
IPA-DI	0,177	0,011	16,037	2,57926E-54	0,12142045
IPA-M	0,167	0,013	13,164	6,57696E-38	0,08518938
IPCA	-0,186	0,023	-8,216	3,89737E-16	0,03500156
IPCA-15	-0,219	0,026	-8,410	8,07301E-17	0,03661030
IPC-FIPE	-0,310	0,026	-12,085	1,99859E-32	0,07277076
PIB AGRO	0,029	0,001	25,159	1,8133E-120	0,25379522
PIB IND	-0,032	0,003	-9,979	7,02516E-23	0,05078729
PIB SERV	-0,063	0,003	-20,234	1,91346E-82	0,18032439
PIB TOTAL	-0,131	0,005	-24,380	3,7074E-114	0,24207021

Analisando a tabela acima, percebe-se que os coeficientes angulares das regressões variam entre positivos e negativos, evidenciando que a variação de um ponto do indicador, reflete no aumento ou na diminuição da variável dependente. Além disso, quanto maior o coeficiente angular, mais sensível é a volatilidade implícita quando da comparação isolada com esses indicadores. O IGP-DI mostrou-se a variável com maior coeficiente (0,674), tornando-se aquela que ao variar, mais sensibiliza a VI.

O erro padrão da estimativa é o desvio padrão do comportamento da variável dependente no entorno da linha de regressão estimada. Assim, quanto menor o erro

padrão, mais assertivo será o modelo. Em todos os casos, o erro padrão foi inferior a 5%.

Verifica-se que o valor-P é inferior ao nível de significância estabelecido (5%) para todos os casos, desta forma, podemos considerar a regressão como significativa.

Com o objetivo auxiliar a mensurar o ganho relativo introduzido pelo modelo, foi verificado o coeficiente de determinação definido como R-Quadrado Ajustado. A interpretação desse visa mensurar a relação entre os valores observados.

O resultado apresentado no quadro acima evidencia que a VI do Índice Bovespa não é apenas explicada através do estudo dos indicadores testados, pois muito provavelmente outras variáveis estejam influenciando a volatilidade implícita.

O indicador que melhor relacionou-se com a variável dependente foi o IGP-M com 39,89% de correlação. De maneira oposta, o IPCA apresentou 3,5% de correlação, justificando o indicador menos explicativo da VI quando observadas as variáveis isoladamente.

Após analisar o comportamento do VI junto aos indicadores isoladamente, foi testado o modelo de correlação linear múltipla com o uso de todos os indicadores. A tabela abaixo evidencia o resultado desse teste.

**Tabela 3 – Resultado estatístico regressão linear múltipla**

<b>Indicador</b>	<b>Coefficientes</b>	<b>Erro padrão</b>	<b>Stat t</b>	<b>valor-P</b>
Interseção	0,121	0,005	22,112	2,48935E-96
IGP-DI	0,120	0,039	3,072	0,0021542
IGP-M	0,401	0,034	11,898	1,64672E-31
INPC	-0,108	0,028	-3,879	0,000108707
IPA-DI	-0,070	0,015	-4,532	6,2196E-06
IPA-M	-0,036	0,021	-1,719	0,085828694
IPCA	-0,069	0,040	-1,715	0,086507302
IPCA-15	0,090	0,044	2,018	0,04373224
IPC-FIPE	-0,080	0,031	-2,536	0,011282621
PIB AGRO	0,013	0,002	8,636	1,2329E-17
PIB IND	0,016	0,004	4,659	3,39848E-06
PIB SERV	-0,029	0,004	-6,785	1,5586E-11
PIB TOTAL	-0,031	0,006	-4,743	2,26325E-06

Verificando os dados apresentados na tabela cima, percebe-se que, mais uma vez, o erro padrão é menor que 5% para todos os casos. Verifica-se ainda, que o valor-P é inferior ao nível de significância estabelecido (5%), para quase todas as variáveis, com exceção do IPCA (8,65%) e do IPA-M (8,58%). Ainda assim, podemos considerar a regressão em termos gerais como significativa. Ou seja, com o F de significação pequeno, a

probabilidade de haver uma estatística de teste como a verificada, é muito baixa, determinando a rejeição da hipótese nula.

Da mesma forma como utilizado no primeiro teste, foi verificado o quanto o modelo utilizado é explicativo. Vale lembrar, que o R-Quadrado Ajustado penaliza o uso de mais de uma variável. O resultado do teste foi de 56,40%, ou seja, houve ganho na aderência do modelo para explicar a variável dependente quando comparado ao teste anterior.

## **5. Considerações Finais**

O presente trabalho teve como objetivo testar a hipótese que a volatilidade implícita do Índice Bovespa, evidenciada através de suas opções de compra, refletem a incerteza de algumas premissas macroeconômicas brasileiras. O argumento que motivou a pesquisa foi o fato defendido por vários autores de que a VI pode refletir a expectativa futura de comportamento do mercado, assim, a proposta baseou-se em que, dado que a pesquisa Focus apresenta, de fato, a expectativa futura dos analistas de mercado, intuitivamente podemos interpretar que a VI do mercado deve ser influenciada pela expressividade da incerteza futura.

O conteúdo de informações contidos na volatilidade implícita, possui evidências estatísticas que mostram que há relacionamento com o desvio padrão das expectativas de índices econômicos para o futuro. Essa conclusão, aplica-se à VI do Índice Bovespa, mensurada através da fórmula de precificação de Black-Scholes. Além disso, foi testado o quanto a VI pode ser explicada pelas premissas macroeconômicas, mais uma vez, verificou-se que há conteúdo informacional no relacionamento isolado ou não junto aos indicadores.

Como resultado, verificou-se que a variável, quando analisada isoladamente, que mais explica a oscilação da volatilidade implícita foi o IGP-M com 39,89% de correlação. Já o IPCA apresentou 3,5% de correlação, sendo o indicador menos aderente à VI do IBOV.

Ao perceber que pelo menos uma parte da VI pode ser explicada com o desvio padrão dos indicadores, buscou-se verificar, se com o uso combinado de todos os indicadores poderia, sem perda de valor estatístico, incrementar o quanto da VI pode ser explicada. Como resultado, verificou-se que o uso combinado foi capaz de explicar 56,40% da volatilidade implícita do IBOV, ou seja, mais da metade da oscilação da VI, pode ser prevista com a regressão linear desses indicadores.

Mesmo utilizando uma vasta amostragem de opções do Índice Bovespa, e mesmo tendo sido evidenciados níveis informacionais no relacionamento com as incertezas sobre o comportamento de índices econômicos, ficam lacunas sobre a solidez dos testes

realizados. Quando utilizamos o desvio padrão das opiniões dos analistas, informado pelo Banco Central, há apenas duas casas decimais após a vírgula, podendo comprometer os resultados dos testes. Se o BC disponibiliza-se maior conteúdo informacional em seus dados, o problema seria sanado. Além disso, há espaço para outros tipos testes estatísticos, podendo ratificar ou não os resultados encontrados.

Ainda que expostas algumas ressalvas, admite-se que o presente trabalho seja útil para analisar a hipótese de que a volatilidade implícita possa ser afetada pelo aumento da incerteza do mercado. De fato, há indícios de que quanto maior a incerteza de premissas macroeconômicas, maior a VI do Ibovespa. Como sugestão para próximas pesquisas, poder-se-ia utilizar outros testes estatísticos e a volatilidade implícita de outros ativos financeiros, corroborando com os resultados aqui apresentados.

## 6. Referências Bibliográficas

ANDRADE, SANDRO C.; TABAK, BENJAMIN MIRANDA. Is it Worth Tracking Dollar/Real Implied Volatility? **Banco Central do Brasil – Working Paper Series**, v. 15, p. 1-25, 2001.

BANCO CENTRAL. Focus. Disponível em: < <https://www.bcb.gov.br/?RED-FOCUS>>. Acesso 13/04/2014

BECKER, RALF; CLEMENTS, ADAM E.; WHITE, SCOTT I. Does Implied Volatility Provide any Information beyond that Captured in model-based Volatility Forecasts? **Journal of Banking & Finance**, v. 31, p. 1-25, 2006.

BLAIR, BEVAN J.; POON, SER-HUANG; TAYLOR STEPEHN J. Forecasting S&P 100 Volatility: The Incremental Information Content of Implied Volatilities and High-Frequency Index Returns. **Journal of Econometrics**, v. 105, p. 5-26, 2001.

BLACK, FISCHER; SCHOLES, MYRON. The Pricing of Option and Corporate Liabilities. **The Journal of Political Economy**, v. 81, p. 637-654, 1973.

CETIP. Series Históricas DI. Disponível em: < [http://www.cetip.com.br/astec/series\\_v05/paginas/web\\_v05\\_template\\_informacoes\\_di.asp?s\\_tr\\_Modulo=completo&int\\_Idioma=1&int\\_Titulo=6&int\\_NivelBD=2](http://www.cetip.com.br/astec/series_v05/paginas/web_v05_template_informacoes_di.asp?s_tr_Modulo=completo&int_Idioma=1&int_Titulo=6&int_NivelBD=2)>. Acesso 15/04/2014

CHRISTENSEN, B. J.; PRABHALA, N. R. The Relation between implied and realized volatility. **Journal of Financial Economics**, v. 50, p. 125-150, 1998.

CIFARELLI, Giulio. The information content of implied volatilities of options on eurodeposit futures traded on the LIFFE: is there long memory? **MPRA**, v. 128, p. 1-45, 2002.

CORRADO C J.; SU, TIE. Implied volatility skews and stock return skewness and kurtosis implied by stock option prices. **The European Journal of Financial**, v. 3, p. 73-85, 1997.

DUMAS, BERNANRD; FLEMING,JEFF; WHALEY, ROBERT E. Implied Volatility Functions: Empirical Tests. **The Journal of Finance**, v. LIII, p. 2059- 2106, 1998.

FERNANDES, PAULO GUITTI. **Determinantes da Volatilidade Implícita das Opções de Juros (IDI): a Influência do COPOM**. 2012. 55p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.

FLEMING, FEFF. The quality of market volatility forecasts implied by S&P 100 index option prices. **Journal of Empirical Finance**, V. 5, P. 317-345, 1998.

GABE, JOÃO. **Volatilidade Implícita versus Volatilidade Estatística: Uma Avaliação para o Mercado Brasileiro a Partir dos Dados de Opções e Ações da Telemar S.A.** 2003. 142p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GOMES, FREDERICO PECHIR. Volatilidade Implícita e Antecipação de Eventos de Stress: um Teste para o Mercado Brasileiro. **Banco Central do Brasil - Trabalhos para Discussão**, v. 38, p. 1-35, 2002.

HISSA, MAURÍCIO. **Investindo em Opções**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda. , 2007 – 7º edição.

HULL, JOHN. **Introdução aos Mercados Futuros e de Opções**. São Paulo: Bolsa de Mercadorias e Futuros e Cultura Editores Associados, 1994.

KOOPMAN, SIEM JAN; JUNGBACKER, BORUS;HOL, EUGENIE. Forecasting Dayli Variability of the S&P 100 Stock Index using Historical, Realized and Implied Volatility Measurements. **Tibergen Institute Discussion Paper**, v.16, p 1-32, 2004.

LANARI, CLÁUDIO SANTORO; SOUZA, ANTÔNIO ARTUR; DUQUE, JOÃO LUIZ C. Desvios em Relação ao Modelo Black & Scholes: Estudos Relacionados à Volatilidade dos Ativos Subjacentes às Opções. **Núcleo de Ensino, Pesquisa e Consultoria em Finanças e Contabilidade**,

MELLO, ARTHUR RIBEIRO DE A. F. **Volatilidade Implícita das Opções de Ações: Uma Análise sobre a Capacidade de Previsão do Mercado sobre a Volatilidade Futura**. 2009. 45p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.

MERTON, ROBERT C. Theory of Rational Option Princing. **Journal of Financial Economics**, v. 4, p. 141-183, 1973.

ROSS, STEPHEN A. **Administração Financeira**. São Paulo: Atlas, 2002 – 2ª edição.

VICENTE, JOSÉ V.M.; GUEDES, TIAGO S. A Volatilidade implícita contém informações sobre a volatilidade futura? **Brazilian Business Review**, v.7, p. 48-65, 2010.