

SORRISO DA VOLATILIDADE NAS OPÇÕES DE COMPRA DE  
TELEMAR PN USANDO DADOS INTRADIÁRIOS

Guarino Gentil Junior

Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Instituto COPPEAD de Administração

Orientador: Eduardo Facó Lemgruber  
Ph.D. em Finanças (UCLA)

Rio de Janeiro  
março 2007

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Sorriso da Volatilidade nas Opções de Compra de Telemar PN usando dados intradiários

Guarino Gentil Junior

Dissertação submetida ao corpo docente do Instituto COPPEAD de Administração, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre.

Aprovada por:

\_\_\_\_\_ Presidente da Banca  
Prof. Eduardo Facó Lemgruber, Ph.D. – Orientador  
(COPPEAD/UFRJ)

\_\_\_\_\_ Prof. Celso Funcia Lemme, D.Sc.  
(COPPEAD/UFRJ)

\_\_\_\_\_ Prof. Octavio Manuel Bessada Lion, D.Sc.  
(Banco Central)

Rio de Janeiro, RJ  
2007

Gentil Junior, Guarino

Sorriso da Volatilidade nas Opções de Compra de Telemar PN usando dados intradiários / Guarino Gentil Junior. Rio de Janeiro, 2007.

xiii, 63 f., il.

Orientador: Eduardo Facó Lemgruber

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto COPPEAD de Administração, 2007.

Referências Bibliográficas: f. 64-67

1. Opções 2. Volatilidade 3. Finanças – Teses I. Lemgruber, Eduardo Facó. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto COPEAD de Administração. III. Sorriso da Volatilidade nas Opções de Compra de Telemar PN usando dados intradiários

À Isabel Mandarino Junqueira

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a meus pais, por todo apoio que me deram para que eu pudesse chegar onde estou e tivesse capacidade de trilhar meu caminho com meus próprios pés.

Ao professor Eduardo Facó Lemgruber, pelas orientações que me deu e apoio para finalizar este trabalho.

Ao professor Celso Funcia Lemme, pela dedicação e sugestões para a melhoria deste trabalho, além das aulas que me foram fornecidas durante o curso.

Ao professor Octavio Manuel Bessada Lion, por aceitar participar da banca avaliadora e por também ter contribuído para a melhoria deste trabalho.

Ao aluno do curso de Doutorado Cláudio Henrique da Silveira Barbedo por ter fornecido sob nenhuma restrição a base de dados que foi utilizada neste trabalho.

A meus amigos e minha namorada, Isabel Mandarino Junqueira, por terem me apoiado nesta jornada e por, pacientemente, terem esperado eu terminar meus deveres para que pudéssemos ter nossos momentos de alegria.

## RESUMO

GENTIL JUNIOR, Guarino. **Sorriso da Volatilidade nas Opções de Compra de Telemar PN usando dados intradiários**. Orientador: Eduardo Facó Lemgruber. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPEAD, Março de 2007. Dissertação.

Este trabalho tem como objetivo testar se o sorriso da volatilidade persiste quando são utilizados dados intradiários ao invés dos preços de fechamento. Outra contribuição deste trabalho é mostrar se o *spread bid-ask* pode ser a razão pela qual o mercado não elimina essa anomalia. Por fim, são executadas algumas estratégias de compra e venda das opções para verificar se há possibilidades de ganhos com os resultados obtidos no trabalho.

Os resultados indicam que o sorriso da volatilidade persiste mesmo quando são utilizados dados intradiários. Ademais, não só o sorriso da volatilidade persiste ao longo do dia, como há indícios de que ele é ainda mais acentuado nas primeiras horas de negociação. Quanto aos *spreads bid-ask*, estes não são grandes o suficiente para justificar a existência de tal fenômeno. As estratégias de *day-trade* baseadas no fato de o sorriso da volatilidade ser mais acentuado nas primeiras horas de negociação apresentaram ganhos positivos, mas não estatisticamente significativos.

## ABSTRACT

GENTIL JUNIOR, Guarino. **Sorriso da Volatilidade nas Opções de Compra de Telemar PN usando dados intradiários**. Orientador: Eduardo Facó Lemgruber. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPEAD, Março de 2007. Dissertação.

The present study has the objective of testing if the volatility smile persists when intraday data are used instead of closing prices. Another contribution from this study is demonstrate if the bid-ask spread can be the reason of the market not eliminate such phenomenon. At last, but not the least, some strategies buying and selling the options are executed to verify if there ways to gain money with the results presented in this study.

The results indicate that the volatility smile persists even when intraday data are used. Moreover, there are some indications that the volatility smile is stronger in the first hours of negotiations than in the last hours. According to the estimated bid-ask spreads, they are not big enough to justify the existence of such phenomenon. The day-trade strategies based in the fact that the volatility smile is stronger in the first hours of negotiation presented positive earnings, but that are not statistically significant.

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Tabela contendo a estimação de modelos de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de moneyness. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 19 de janeiro de 2004. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. Modelos de regressão polinomiais de ordem 2 foram estimados para cada intervalo de 1 hora de negociação e também para todas as opções juntas independentes do horário em que foram negociadas. 34
- Tabela 2. Tabela contendo informações adicionais a respeito da estimação de modelos de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de moneyness da Tabela 1. São apresentados nesta tabela o R<sup>2</sup> para os modelos de regressão de cada intervalo de 1 hora de negociação, assim como o número de observações na amostra disponível para cada modelo, a estatística-F que testa a hipótese de que todos os coeficientes da regressão são nulos e o p-valor dessa estatística. 35
- Tabela 3. Tabela contendo a estimação de modelos de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de moneyness. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 16 de fevereiro de 2004. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. Modelos de regressão polinomiais de ordem 2 foram estimados para cada intervalo de 1 hora de negociação e também para todas as opções juntas independentes do horário em que foram negociadas. 40
- Tabela 4. Tabela contendo informações adicionais a respeito da estimação de modelos de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de moneyness da Tabela 3. São apresentados nesta tabela o R<sup>2</sup> para os modelos de regressão de cada intervalo de 1 hora de negociação, assim como o número de observações na amostra disponível para cada modelo, a estatística-F que testa a hipótese de que todos os coeficientes da regressão são nulos e o p-valor dessa estatística. 41

- Tabela 5. Tabela contendo a estimação de modelos de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de moneyness. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 15 de março de 2004. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. Modelos de regressão polinomiais de ordem 2 foram estimados para cada intervalo de 1 hora de negociação e também para todas as opções juntas independentes do horário em que foram negociadas. 46
- Tabela 6. Tabela contendo informações adicionais a respeito da estimação de modelos de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de moneyness da Tabela 5. São apresentados nesta tabela o R<sup>2</sup> para os modelos de regressão de cada intervalo de 1 hora de negociação, assim como o número de observações na amostra disponível para cada modelo, a estatística-F que testa a hipótese de que todos os coeficientes da regressão são nulos e o p-valor dessa estatística. 47
- Tabela 7. Tabela com os coeficientes de cada modelo de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de moneyness. Foram utilizadas as informações de todas as negociações de opções de compra de Telemar com vencimento em 19 de janeiro de 2004. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. 49
- Tabela 8. Tabela com os coeficientes de cada modelo de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de moneyness. Foram utilizadas as informações de todas as negociações de opções de compra de Telemar com vencimento em 16 de fevereiro de 2004. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. 51
- Tabela 9. Tabela com os coeficientes de cada modelo de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de moneyness. Foram utilizadas as informações de todas as negociações de opções de compra de Telemar com vencimento em 15 de março de 2004. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. 53
- Tabela 10. Tabela com os resultados obtidos com estratégia de operações day-trade vendendo a descoberto opções de compra in-the-money no início do dia e comprando as mesmas opção ao final do dia para encerrar as posições. Foram consideradas apenas as opções de compra com preços de exercício R\$40,00, R\$42,00, R\$44,00 e R\$46,00 e com data de vencimento em 19 de janeiro de 2004 Na coluna do meio, os resultados obtidos não consideram a existência de spreads entre a melhor oferta de compra e a melhor oferta de venda. Na coluna da direita, os resultados obtidos levam em consideração a existência de spread entre a melhor oferta de compra a melhor oferta de venda. 57

Tabela 11. Tabela com regressões polinomiais para as volatilidades implícitas nos preços das opções de compra de Telemar com vencimento em 19 de janeiro e 16 de fevereiro de 2004. Foram utilizadas apenas opções que foram negociadas no intervalo entre 17 e 18 horas e entre 11 e 12 horas. O primeiro dia de negociação considerado na análise foi o que apresentou negociação entre 17 e 18 horas no dia D e negociação entre 11 e 12 horas no dia D+1. O último dia de negociação considerado na análise foi o que apresentou negociação entre 11 e 12 horas no dia D e negociação entre 17 e 18 horas no dia D-1.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Gráfico de dispersão com a volatilidade implícita nos preços das opções de compra de Telemar representada pelo eixo das ordenadas e o índice de moneyness representado pelo eixo das abscissas. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 19 de janeiro de 2004. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. A linha contínua no gráfico representa a curva de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas das opções do gráfico de dispersão em função do índice de moneyness. A função da regressão e seu R2 também são apresentados na figura. 31
- Figura 2. Gráfico com a volatilidade implícita nos preços das opções de compra de Telemar representada pelo eixo das ordenadas e o índice de moneyness representado pelo eixo das abscissas. As linhas no gráfico representam curvas de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas em opções. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 19 de janeiro de 2004 e as taxas de spread estimada para essas opções. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. A linha tracejada e a linha contínua no gráfico representam, respectivamente, curvas de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas nos preços das ordens de venda e das ordens de compra das opções em função do índice de moneyness. As funções das regressões e seus respectivos R2 também são apresentados na figura. 32
- Figura 3. Gráfico de dispersão com a volatilidade implícita nos preços das opções de compra de Telemar representada pelo eixo das ordenadas e o índice de moneyness representado pelo eixo das abscissas. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 16 de fevereiro de 2004. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. A linha contínua no gráfico representa a curva de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas das opções do gráfico de dispersão em função do índice de moneyness. A função da regressão e seu R2 também são apresentados na figura. 37

Figura 4. Gráfico com a volatilidade implícita nos preços das opções de compra de Telemar representada pelo eixo das ordenadas e o índice de moneyness representado pelo eixo das abscissas. As linhas no gráfico representam curvas de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas em opções. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 16 de fevereiro de 2004 e as taxas de spread estimada para essas opções. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. A linha tracejada e a linha contínua no gráfico representam, respectivamente, curvas de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas nos preços das ordens de venda e das ordens de compra das opções em função do índice de moneyness. As funções das regressões e seus respectivos R2 também são apresentados na figura. 38

Figura 5. Gráfico de dispersão com a volatilidade implícita nos preços das opções de compra de Telemar representada pelo eixo das ordenadas e o índice de moneyness representado pelo eixo das abscissas. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 15 de março de 2004. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. A linha contínua no gráfico representa a curva de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas das opções do gráfico de dispersão em função do índice de moneyness. A função da regressão e seu R2 também são apresentados na figura. 43

Figura 6. Gráfico com a volatilidade implícita nos preços das opções de compra de Telemar representada pelo eixo das ordenadas e o índice de moneyness representado pelo eixo das abscissas. As linhas no gráfico representam curvas de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas em opções. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 15 de março de 2004 e as taxas de spread estimada para essas opções. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. A linha tracejada e a linha contínua no gráfico representam, respectivamente, curvas de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas nos preços das ordens de venda e das ordens de compra das opções em função do índice de moneyness. As funções das regressões e seus respectivos R2 também são apresentados na figura. 44

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>6</b>
2.1 VOLATILIDADE IMPLÍCITA NO MODELO DE BLACK-SCHOLES .....	6
2.2 SORRISO DA VOLATILIDADE IMPLÍCITA .....	10
2.3 BID-ASK SPREAD.....	16
2.4 SUPERFÍCIE DE VOLATILIDADE.....	17
<b>3 BASE DE DADOS E METODOLOGIA.....</b>	<b>20</b>
3.1 BASE DE DADOS .....	20
3.2 METODOLOGIA .....	24
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
4.1 SORRISO DA VOLATILIDADE IMPLÍCITA EM OPÇÕES COM VENCIMENTO EM 19 DE JANEIRO DE 2004.....	30
4.2 SORRISO DA VOLATILIDADE IMPLÍCITA EM OPÇÕES COM VENCIMENTO EM 16 DE FEVEREIRO DE 2004 .....	36
4.3 SORRISO DA VOLATILIDADE IMPLÍCITA EM OPÇÕES COM VENCIMENTO EM 15 DE MARÇO DE 2004 .....	42
4.4 REGRESSÕES POLINOMIAIS UTILIZANDO A BASE DE DADOS ORIGINAL.....	48
4.5 VERIFICANDO OS RESULTADOS ENCONTRADOS .....	56
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>64</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Uma maneira de estimar a volatilidade esperada pelo mercado de certas ações é fazer uma coleta dos preços de mercado de várias opções financeiras e das cotações do ativo-objeto dessas opções. Com essas informações resumidas em uma base de dados, bastaria estimar qual a volatilidade que faz com que o preço justo indicado pelo modelo de apreçamento de opções de Black&Scholes (1973) seja igual ao preço praticado pelo mercado para se obter uma aproximação da volatilidade esperada pelo mercado financeiro.

Todavia, em muitos mercados onde são negociadas opções, ao se estimar a volatilidade implícita nos preços das opções pelo modelo de Black&Scholes, são encontradas diferentes volatilidades implícitas para opções com mesmo ativo-objeto, mesma data de vencimento, mas com preços de exercício diferentes. Ao plotar essas volatilidades implícitas encontradas em um gráfico com os preços de exercício das opções no eixo das abscissas, é observado que, geralmente, as opções com preços de exercício mais baixos possuem volatilidades implícitas mais elevadas e, conforme passamos para as opções com preços de exercício maiores, as volatilidades implícitas vão diminuindo até um determinado ponto onde elas tornam a aumentar. Essa anomalia do mercado financeiro já foi muito pesquisada em artigos acadêmicos e se convencionou chamar de sorriso da volatilidade implícita.

O modelo de Black&Scholes para o apreçamento de opções financeiras é baseado em alguns pressupostos que, na prática, podem não ser totalmente verdadeiros. Essas suposições que são adotadas para se chegar à fórmula de apreçamento de opções européias já foram muito criticadas e apontadas como o motivo para a existência do sorriso da volatilidade

implícita. Alguns desses pressupostos que são mais criticados por artigos acadêmicos e que seriam o motivo para a existência do sorriso da volatilidade implícita são:

- a) os retornos do ativo-objeto da opção seguem uma distribuição normal;
- b) a volatilidade do ativo-objeto é constante até a data de vencimento das opções e o mercado sabe estimá-la com precisão;
- c) o preço do ativo-objeto segue um movimento geométrico Browniano;
- d) não há oportunidades para ganhos de arbitragem no mercado, pois se houvesse o mercado trataria rapidamente de anulá-las.

O fenômeno do sorriso da volatilidade implícita já foi identificado tanto em opções de compra quanto em opções de venda e em várias bolsas de valores do mundo. Também já tentaram identificar esta anomalia em opções de moeda, opções de índice e até em opções de futuros. Quase sempre se consegue demonstrar que as opções com preços de exercício menores são relativamente mais caras do que as opções com preços de exercício maiores.

Entretanto, uma crítica a esses trabalhos anteriores é que todos utilizam como base de dados os preços de fechamento tanto das opções como do ativo-objeto. Tal metodologia adotada seria plenamente adequada apenas se todas as opções e seus ativos-objetos pesquisados fossem perfeitamente líquidos. Mas isso nem sempre se verifica em todas as opções, mesmo quando são escolhidas opções sobre ativos de grande liquidez no mercado. O preço justo indicado pelo modelo de Black&Scholes para as opções financeiras considera os valores de mercado no momento exato da análise. Mas ao serem utilizados preços de fechamento na fórmula de Black&Scholes, em muitos casos estarão sendo usados preços de opções e do ativo-objeto que foram negociados desde com 1 segundo de diferença até com horas de defasagem. Todos os trabalhos anteriores pesquisados relataram esses problemas e

adotaram certas providências como um tratamento na base de dados que excluísse os ativos com pouca liquidez. Esses tratamentos podem minimizar os problemas de assincronia nas negociações dos ativos, mas não se pode ter certeza que esses problemas serão todos eliminados e, portanto, os resultados observados em todos esses trabalhos não escapam de serem criticados por terem usado uma base de dados com apenas preços de fechamento para suas análises.

É baseado neste problema de assincronia dos preços de fechamento que este trabalho tenta dar alguma contribuição para a discussão acadêmica sobre a volatilidade implícita nos preços das opções financeiras. Este trabalho utiliza como base de dados as negociações *intraday* de opções de compra de Telemar na Bovespa, assim como as negociações *intraday* da ação preferencial da Telemar, que é o ativo-objeto dessas opções. Para a estimação da volatilidade implícita nos preços das opções, uma base de negociações *intraday* permite que sejam utilizados preços de mercado que foram negociados em momentos muito próximos, reduzindo em muito os problemas de se utilizar uma base de dados com preços de fechamento. Uma análise com dados *intraday* também permite que o número de observações seja muito maior para um mesmo período de análise, o que torna os resultados observados mais confiáveis.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo identificar se o sorriso da volatilidade implícita ainda persiste mesmo se forem utilizados dados *intraday* das negociações de opções de compra. Ademais, uma contribuição deste trabalho é a tentativa de se identificar algum padrão de comportamento no sorriso da volatilidade implícita ao longo do dia. Para isso, o sorriso da volatilidade implícita segundo o modelo de Black&Scholes será estimado para todos os intervalos de 1 hora de negociação das opções. O sorriso será estimado através de regressões polinomiais de ordem 2 sobre as volatilidades implícitas calculadas. As curvas de regressão obtidas em cada intervalo de 1 hora serão analisadas com o objetivo de confirmar a

existência do fenômeno do sorriso de volatilidade implícita e para identificar qualquer padrão de comportamento que exista no sorriso ao longo do dia.

Que o sorriso da volatilidade implícita parece existir ao final do dia já foi apresentado em trabalhos anteriores. Que o sorriso da volatilidade implícita se altera com a aproximação da data de vencimento das opções também já foi pesquisado em outros artigos acadêmicos. Todavia, até o momento não foi encontrado qualquer artigo que estudasse a mudança que o sorriso de volatilidade implícita sofre ao longo do dia. Pode ser que em horários mais próximos da abertura do pregão de negociação não haja qualquer sinal dessa anomalia nos preços das opções. Há a hipótese também de que o sorriso da volatilidade implícita não se altera ao longo do dia desde a abertura até o encerramento das negociações em bolsa. Mas também pode ser que o sorriso da volatilidade implícita seja até mais acentuado em outros horários que não o fechamento, permitindo que estratégias de *day-trade* comprando opções baratas e vendendo opções caras segundo o modelo de Black&Scholes com o objetivo de obter lucros sejam possíveis mesmo com a existência do *spread* entre o preço da melhor oferta de compra e o preço da melhor oferta de venda. Enfim, o uso de dados de alta frequência para estudar o sorriso da volatilidade implícita nas opções financeiras dá a oportunidade para fazer descobertas e contribuições que ainda não foram exploradas.

Este trabalho segue no capítulo 2 com uma revisão bibliográfica a respeito do modelo de Black&Scholes (1973), da anomalia do sorriso da volatilidade implícita identificada em vários mercados, das implicações do *spread bid-ask* e da superfície de volatilidade. No capítulo 3, são descritas as características da base de dados utilizada neste trabalho e explicada a metodologia de pesquisa adotada para o seu tratamento, além de serem apresentados os modelos que serão utilizados e os testes que serão realizados sobre os resultados observados. O capítulo 4 apresenta os resultados observados e as respostas obtidas nos testes realizados. Este trabalho encerra-se no capítulo 5, onde são apresentadas as

conclusões que puderam ser obtidas através dos resultados e testes observados, além de serem feitas sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo está dividido em 4 seções. A primeira seção faz uma breve revisão de literatura sobre o modelo de Black&Scholes (1973) e a volatilidade implícita nos preços de opções financeiras segundo esse modelo. A seção seguinte discute os vários artigos acadêmicos que já foram publicados e que tinham como tema o fenômeno do sorriso de volatilidade implícita nos preços de opções financeiras. Uma terceira seção apresenta as teorias que já foram desenvolvidas a respeito dos *spreads* que existem nos mercados entre os preços da melhor oferta de compra e a melhor oferta de venda. Uma quarta e última seção discute um tema relativamente novo que também envolve inconsistências entre o modelo de Black&Shcoles (1973) e as realidades do mercado financeiro: superfície de volatilidade.

### 2.1 VOLATILIDADE IMPLÍCITA NO MODELO DE BLACK-SCHOLES

Como já foi mencionado por Dumas, Fleming e Whaley (1998), a volatilidade futura esperada dos ativos financeiros desempenha um papel central na teoria das finanças. Muitas das fórmulas de apreçamento de ativos financeiros que não são livres de risco têm algum fator de volatilidade como variável relevante. Na determinação do custo de capital para avaliação de projetos e empresas é necessário determinar o risco do projeto ou da empresa para a demarcação do prêmio pelo risco. Na formação e diversificação do risco de carteiras, avaliar a volatilidade esperada de cada ativo disponível para compra é um dos primeiros passos para

determinar a fronteira eficiente entre risco da carteira e retorno esperado. Dessa forma, obter uma boa estimativa desse parâmetro – volatilidade futura esperada – é extremamente importante para a tomada de decisões do investidor. Quando é preciso estimar a volatilidade de certos ativos, uma das maneiras utilizadas por pesquisadores e investidores é examinar o comportamento passado de seus preços e confiar que esse comportamento deverá ser mantido no futuro próximo. Assim, estes agentes econômicos tomam suas decisões financeiras baseadas em análises que projetam para frente o comportamento passado dos preços dos ativos em questão.

Com certeza, há várias críticas a essa abordagem, dentre elas o fato de que não necessariamente o comportamento passado dos ativos será parecido com seu comportamento futuro, mesmo quando queremos analisar um futuro bem próximo. Assim, uma alternativa a essa abordagem seria considerar que os mercados são eficientes e que, portanto, os preços das últimas negociações são preços justos e que já absorveram todas as informações públicas até o momento. Quando for necessário, então, saber a volatilidade futura esperada de um determinado ativo para tomar certas decisões, estimar a volatilidade esperada pelo mercado já seria um bom palpite.

Uma maneira que existe para estimar a volatilidade esperada pelo mercado de certas ações é fazer uma coleta dos preços de mercado de várias opções financeiras e das cotações do ativo-objeto dessas opções. Como de acordo com Dumas, Fleming e Whaley (1998) o valor das opções dependem decisivamente da volatilidade futura esperada de seu ativo-objeto – quanto maior a volatilidade esperada do ativo-objeto, maior será o valor da opção, seja ela uma opção de compra ou uma opção de venda –, basta estimar qual a volatilidade que faz com que o preço justo indicado pelo modelo de apreçamento de opções de Black-Scholes seja igual ao preço praticado pelo mercado para se obter uma aproximação da volatilidade esperada pelo mercado financeiro.

De acordo com Black-Scholes (1973), o preço da opção de compra e o preço da opção de venda podem ser estimados pelas seguintes fórmulas:

$$c = S N(d_1) - X e^{-rT} N(d_2) \quad (1)$$

$$p = X e^{-rT} N(-d_2) - S N(-d_1) \quad (2)$$

$$d_1 = [ \ln(S/X) + (r + s^2/2)T ] / [ s \sqrt{T} ] \quad (3)$$

$$d_2 = d_1 - s \sqrt{T} \quad (4)$$

Onde:

$c$  = preço justo da opção de compra segundo o modelo de Black-Scholes;

$p$  = preço justo da opção de venda segundo o modelo de Black-Scholes;

$S$  = preço do ativo-objeto da opção na data presente;

$X$  = preço de exercício da opção;

$T$  = período de tempo até a data de vencimento da opção;

$r$  = taxa de juros livre de risco ao período;

$s$  = volatilidade do ativo-objeto ao período;

$N(d)$  = função de densidade acumulada da distribuição Normal padronizada.

Os preços justos tanto para as opções de compra como para as opções de venda calculadas por estas fórmulas só estarão corretos se, segundo Black-Scholes (1973), forem assumidas as seguintes premissas: (i) que a volatilidade do preço é constante até a data de vencimento da opção, e (ii) que o preço do ativo-objeto segue um movimento geométrico

Browniano.<sup>1</sup> O comportamento dos preços da ação em questão segue um movimento geométrico Browniano se, segundo Hull (1998):

$$\Delta S / S = \mu \Delta t + s e^{v \Delta t} \quad (5)$$

Onde:

$\Delta S$  = variação absoluta no preço da ação;

$\mu$  = taxa de retorno esperada da ação ao período;

$\Delta t$  = intervalo de período considerado na análise;

$e$  = variável aleatória de uma distribuição Normal padronizada.

Após a coleta das cotações da opção e da ação, as únicas variáveis que ainda permanecem desconhecidas nesse modelo são a taxa de juros livre de risco e a volatilidade esperada do ativo-objeto da opção. Taxas de juros pré-fixadas de contratos negociados em bolsa e com mesmo prazo de vencimento que as opções podem ser usadas como uma boa aproximação da taxa de juros livre de risco do mercado, pois o risco de crédito é muito próximo de zero já que a Bolsa de Valores é quem assegura o cumprimento das obrigações financeiras.<sup>2</sup> Neste caso, a única variável ainda desconhecida do modelo – a volatilidade do ativo-objeto até a data de vencimento da opção esperada pelo mercado – pode ser encontrada pelo método de otimização não linear de gradiente reduzido genérico até igualar o preço da opção pelo modelo ao seu preço negociado em mercado.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Essas premissas já foram alvos de críticas em diversos artigos já publicados. Tompkins (2001), por exemplo, demonstra que preços de futuro de índices de ações não seguem um processo de movimento geométrico Browniano independente e identicamente distribuído.

<sup>2</sup> Qualquer negociação realizada entre dois agentes financeiros tem a Bolsa de Valores como intermediária. Assim, mesmo que um dos agentes não tenha como honrar com seus compromissos, o patrimônio da Bolsa de Valores arcará com o prejuízo da contraparte.

<sup>3</sup> O método de otimização não linear de gradiente reduzido genérico é o algoritmo utilizado por programas como o Microsoft Excel Solver para chegar a uma determinada solução que não tem fórmula fechada.

Na literatura acadêmica são encontrados vários artigos que defendem a hipótese de que a volatilidade implícita em opções financeiras pode ser usada para estimar a volatilidade esperada dos ativos-objetos dessas opções. Day e Lewis (1988), Harvey e Whaley (1992), Poterba e Summers (1986) e Sheikh (1989), por exemplo, interpretam em seus trabalhos que a volatilidade implícita do modelo de Black-Scholes é um previsor eficiente de volatilidade. Ademais, Latane e Rendleman (1976) demonstram em seus resultados que ações com altas volatilidades implícitas também apresentam altas volatilidades realizadas *ex-post*.

Todavia, também são encontradas conclusões distintas das anteriores em outros artigos acadêmicos. Jorion (1995) conclui em seu trabalho que a volatilidade implícita é um estimador eficiente, porém enviesado. Por outro lado, em Day e Lewis (1992) e em Lamoureux e Lastrapes (1993), a conclusão é de que a volatilidade implícita é um estimador enviesado e ineficiente. Todavia, a conclusão mais radical é encontrada em Canina e Figlewski (1993). Estes autores afirmam que a volatilidade implícita tem virtualmente nenhuma correlação com a volatilidade futura realizada.

## 2.2 SORRISO DA VOLATILIDADE IMPLÍCITA

É fácil encontrar na literatura acadêmica muitos artigos que envolvam o cálculo da volatilidade implícita no modelo de Black-Scholes. Já foram utilizadas para isso opções financeiras sobre ações individuais, índices de mercado, futuros, moedas dentre outros tipos diferentes de ativos-objetos, além de se testar também prazos curtos e longos para o

vencimento das opções.<sup>4</sup> Todavia, em muitos mercados onde essa tarefa foi realizada, são encontradas diferentes volatilidades implícitas para opções com mesmo ativo-objeto, mesma data de vencimento, mas com preços de exercício diferentes. Ao plotar essas volatilidades implícitas encontradas em um gráfico com os preços de exercício das opções no eixo das abscissas, é observado que, geralmente, as opções com preços de exercício mais baixos possuem volatilidades implícitas mais elevadas e, conforme passamos para as opções com preços de exercício maiores, as volatilidades implícitas vão diminuindo até um determinado ponto onde elas tornam a aumentar. Essa anomalia do mercado financeiro já foi muito pesquisada em artigos acadêmicos e se convencionou chamar de sorriso da volatilidade implícita.<sup>5</sup>

Segundo Ederington e Guan (2002), a explicação mais popular para o sorriso da volatilidade implícita é que o modelo de Black-Scholes para o apreamento de opções não está correto e, portanto, não estaria de acordo com os preços apresentados pelo mercado. A imperfeição nesse modelo seria oriunda das suposições erradas que estão por trás do modelo de Black-Scholes. Os pressupostos que são adotados pelo modelo de Black-Scholes e que podem ser o motivo para a existência do sorriso da volatilidade implícita são: (i) os retornos do ativo-objeto da opção seguem uma distribuição normal; (ii) a volatilidade do ativo-objeto é constante até o prazo de vencimento da opção; (iii) o ativo-objeto segue um movimento geométrico Browniano. Dessa forma, segundo estes autores, se qualquer um destes três pressupostos não são verdadeiros, ao utilizar as estimativas e valores de mercado para volatilidade da ação, taxa de juros livre de risco, prazo de vencimento e cotação da ação no modelo de Black-Scholes, o preço obtido não seria igual ao preço de mercado. Como para o

---

<sup>4</sup> Acker (2002), por exemplo, calculou a volatilidade implícita nas cotações de opções obtidas da London International Financial Futures and Options Exchange para analisar a mudança na volatilidade *ex post* de ações que fizeram anúncio de distribuição de dividendos.

<sup>5</sup> De acordo com Bollen e Whaley (2004), antes da quebra do mercado em outubro de 1987, a volatilidade implícita no índice de opções de S&P 500 apresentava um formato de um sorriso quando relacionada com o preço de exercício das opções. Todavia, após este evento em outubro de 1987, a volatilidade implícita passou a apresentar uma redução monotônica quanto maior o preço de exercício da opção.

cálculo da volatilidade implícita são usados valores de mercado para todas as variáveis no modelo exceto para a volatilidade do ativo-objeto – que é o que se deseja saber – é exatamente na volatilidade implícita que se residirá o erro. Em outras palavras, o modelo de Black-Scholes seria um modelo incorreto que, ao usar valores igualmente equivocados – volatilidade implícita – apreçaria opções financeiras de acordo com o mercado.

Baseado na hipótese de que há pressupostos errados no modelo de Black-Scholes, outros artigos surgiram no meio acadêmico para testar se o sorriso da volatilidade implícita desapareceria com a flexibilização de alguma dessas hipóteses do modelo. Merton (1976), Jarrow e Rosenfeld (1984), Ball e Torous (1985), Amin (1993) e Bates (1996) são alguns autores que analisaram o sorriso da volatilidade implícita após a flexibilização da hipótese de que os retornos do ativo-objeto seguem uma distribuição normal. Nestes trabalhos, foi considerado que os retornos do ativo-objeto seguiria um processo de saltos. Todavia, foi demonstrado que ainda assim a volatilidade implícita calculada pelo modelo de Black-Scholes continuaria a apresentar um padrão de sorriso. Assim, mesmo flexibilizando a hipótese de que os retornos do ativo-objeto seguem uma distribuição normal, o sorriso da volatilidade implícita não seria eliminado.

Houve também artigos que testaram a volatilidade implícita no modelo de Black-Scholes, flexibilizando a segunda hipótese apresentada – que a volatilidade do ativo-objeto é constante até o prazo de vencimento da opção. Hull e White (1987), Wiggins (1987), Amin e Ng (1993) e Heston (1993) foram alguns destes autores que, no lugar da volatilidade constante até o prazo de vencimento, calcularam a volatilidade implícita utilizando modelos onde a volatilidade da ação apresentava um comportamento estocástico. As conclusões apresentadas nestes artigos foram que o padrão de sorriso era mantido mesmo após as modificações mencionadas na hipótese.

Ainda com o objetivo de testar o sorriso com a flexibilização da hipótese de volatilidade constante, outros autores foram além destes últimos e chegaram a calcular a volatilidade implícita utilizando modelos onde a volatilidade do ativo-objeto variava deterministicamente. Com a adoção dessa metodologia, a taxa de volatilidade do ativo-objeto da opção em um dado momento seria uma função do preço da ação e do tempo. Rubinstein (1985), Derman e Kani (1994), Rubinstein (1994) e Jackwerth (1997) foram alguns dos autores que adotaram esta metodologia para o cálculo da volatilidade ao invés de considerá-la constante e chegaram a conclusão de que o sorriso da volatilidade implícita ainda persistia mesmo com o uso de modelos com volatilidade determinística.

Uma explicação alternativa é atribuída às falhas da suposição de ausência de ganhos de arbitragem no mercado. De acordo com a hipótese de ausência de ganhos de arbitragem, todos os ativos financeiros são negociados segundo seus preços justos. Caso algum ativo esteja sendo negociado a um preço diferente de seu preço justo, haverá forças de mercado que igualarão esses preços. Se em um dado momento o preço de um determinado ativo estiver sendo negociado a um preço maior que seu preço justo, os investidores mais astutos serão capazes de obter ganhos de arbitragem ao venderem esse ativo sobrevalorizado e ao fazerem *hedge* com outros ativos.<sup>6</sup> Esses investidores continuarão a obter ganhos de arbitragem até o momento em que a pressão causada pela oferta desse ativo iguale seu preço de mercado ao preço justo. Se, por outro lado, o preço negociado de um determinado ativo for menor que seu preço justo, os investidores mais astutos realizarão ganhos de arbitragem comprando esse ativo até o momento em que a pressão causada pela demanda por esse ativo iguale seu preço ao preço justo. Todavia, se há qualquer restrição que não permita que os investidores identifiquem essas oportunidades para arbitrar ou que simplesmente não permita que eles executem tais operações, os preços praticados pelo mercado podem ser diferentes de seus

---

<sup>6</sup> Ganhos de arbitragem são caracterizados quando um investidor executa um conjunto de operações no mercado onde o investimento inicial é nulo e o resultado final é certo e positivo.

preços justo e, conseqüentemente, o sorriso de volatilidade seria corretamente calculado pelo modelo de Black-Scholes (EDERINGTON e GUAN, 2002).

Shleifer e Vishny (1997) descrevem em seu artigo como a habilidade dos arbitadores profissionais para explorar títulos cujos preços estão afastados dos preços justos indicados por modelos de apreçamento é limitada pela sensibilidade dos investidores às perdas intermediárias. Segundo eles, apesar das operações de arbitragem garantirem lucros certos em uma determinada data no futuro, isto não é necessariamente correto ao longo desse período. Quando investidores negociam ativos em Bolsas, eles são obrigados a ter margens de garantia para honrar suas obrigações financeiras em qualquer momento quando for requisitado. Um problema que os investidores podem se deparar é com relação a seus limites com essa margem de garantia. Se o investidor apresentar perdas maiores que suas margens de garantia, ele deverá ser obrigado a se desfazer das posições de seu *portfolio* antes mesmo que ele possa auferir seus ganhos com arbitragem.

No artigo de Liu e Longstaff (2000) é demonstrado que freqüentemente a decisão ótima para um investidor averso ao risco é tomar uma posição menor em uma operação de arbitragem do que suas restrições de margem permitem. Segundo eles, se o investidor tomasse toda a posição que suas margens permitissem, este investidor freqüentemente apresentaria prejuízos e, portanto, apresentaria lucros médios inferiores ao do investidor que tomasse uma posição menor. Novamente, o motivo para esta decisão ótima é a possibilidade de haver perdas intermediárias devidas à marcação a mercado que o obriguem a se desfazer de suas posições antes da convergência dos preços para o valor que o modelo prevê como justo.

Sob essas mesmas condições, um *market maker* não poderá vender um número ilimitado de contratos de uma determinada opção. Segundo Bollen e Whaley (2004), conforme as posições que o *market maker* toma aumentam e se desequilibram, seus custos de *hedging* e/ou sua exposição a risco também se elevam. Assim, por mais que o preço já esteja

defasado do preço justo indicado por modelos de apreçamento, ele só continuaria a vender apenas por um preço ainda mais afastado do preço justo.

O resultado desses limites à arbitragem é que os preços pelo qual essas opções são negociadas em mercado podem divergir dos indicados pelos modelos e, além disso, esse desvio pode não ser corrigido pelas forças do mercado. Portanto, a faixa de ausência de ganhos de arbitragem na qual os preços podem flutuar pode ser bem ampla, permitindo que os preços sejam afetados por reflexos da demanda ou da oferta por esses papéis, sem se igualarem ao preço justo indicado pelos modelos.

Sem experimentar modificações em qualquer dos pressupostos de Black-Scholes, Ederington e Guan (2002) testaram se o sorriso da volatilidade implícita poderia ser totalmente atribuído aos pressupostos desse modelo. Segundo eles, se o sorriso da volatilidade implícita ocorre apenas por causa de pressupostos errados no modelo de Black-Scholes, então o lucro esperado através de uma estratégia baseada no sorriso da volatilidade implícita – comprar opções próximas do vale do sorriso e vender opções próximas do pico do sorriso – deveria ser zero mesmo antes dos custos de transação. Essa estratégia foi testada por eles e carteiras de opções foram formadas sem que houvesse qualquer investimento inicial. Dessa forma, todo o capital necessário para comprar opções consideradas desvalorizadas seria obtido através da venda de opções consideradas sobrevalorizadas pelos modelos. Os resultados de Ederington e Guan (2002) demonstraram que tal estratégia permitia lucros significativamente positivos e concluíram que o sorriso da volatilidade implícita persistiria mesmo que fosse desenvolvido um modelo cujos pressupostos não fossem criticáveis. Adicionalmente, Ederington e Guan (2002) demonstram que, apesar dos lucros realizados com a estratégia adotada variarem aproximadamente em linha com as previsões do modelo de Black-Scholes, em muitos dos casos os lucros efetivamente realizados eram inferiores aos das previsões do modelo. Com base nisso, estes autores concluem que, apesar de o sorriso

persistir mesmo com um modelo baseado em pressupostos não criticáveis, esse sorriso é menos acentuado do que o formado pelas volatilidades implícitas estimadas com o modelo de Black-Scholes.

## 2.3 BID-ASK SPREAD

Segundo Wang et al. (1994), o diferencial de preços entre a oferta de compra e a oferta de venda no mercado é reduzido conforme aumenta a competição entre os *market makers*. Além disso, quanto maior a volatilidade dos preços e quanto maior o tamanho das transações, maior deve ser esse diferencial.

Há também artigos acadêmicos que atribuem o tamanho desse diferencial de preços a certos componentes de custos que são incorridos pelos investidores ao realizarem suas transações no mercado. Esses componentes são: (i) custo para processar a ordem de compra ou de venda; (ii) despesas com inventário; (iii) informação adversa.

De acordo com Demsetz (1968) e Tinic (1972), quanto maior forem os custos para processar as ofertas de compra ou de venda no mercado, maior deve ser o diferencial entre os preços dessas ofertas. Dessa forma, quanto menor a presença de custos de corretagens ou quaisquer outros custos que envolvam esses tipos de transação, menor deve ser esse diferencial.

Trabalhos como Stoll (1978), Amihud e Mendelson (1980), Ho e Stoll (1981) e Amihud e Mendelson (1982) analisaram a relação entre os custos com inventário e o tamanho do diferencial entre os preços das ofertas de mercado. Segundo estes autores, estas despesas devem ter uma relação positiva com a volatilidade dos preços e com o tamanho das

negociações do mercado. Assim, quanto maior os custos com inventário, maior deve ser o diferencial de preços das ofertas de compra e venda.

Já Bagehot (1971) e Copeland e Galai (1983) examinaram os efeitos provocados pelo surgimento de informações adversas. Segundo as conclusões destes autores, o surgimento de informações desfavoráveis tem o mesmo efeito que a volatilidade dos preços e o tamanho das transações. Assim, o tamanho da diferença entre os preços das ofertas de compra e de venda deve ser positivamente correlacionado com as informações adversas no mercado.

## 2.4 SUPERFÍCIE DE VOLATILIDADE

Após muitos artigos descreverem o fenômeno do sorriso da volatilidade – volatilidades implícitas pelo modelo de Black & Scholes diferentes para opções com preços de exercício distintos – alguns pesquisadores passaram a analisar o comportamento desse sorriso com a aproximação da data de vencimento. As primeiras evidências que foram encontradas com esse tipo de análise é que, além de haver um sorriso entre os preços de exercício das opções financeiras, há também, segundo Cont e Fonseca (2001), uma estrutura a termo até a maturidade dessas opções.

Esse tipo de análise da volatilidade implícita das opções variando o seu preço de exercício e período até a data de vencimento denominou-se de análise da superfície de volatilidade. Após as primeiras constatações utilizando o preço de exercício como um dos eixos para a análise gráfica da superfície de volatilidade, os pesquisadores passaram a analisar a superfície de volatilidade utilizando também o índice de *moneyness*. O *moneyness* é um índice que representa o quão dentro do dinheiro está a opção em questão e é argumentado por

alguns autores que para análise de opções ao longo do tempo este índice é preferível ao uso do preço de exercício. A fórmula usada para a estimação deste índice é definida por Ederington e Guan (2002) como:

$$MN = ( K_t / F_t ) - 1 \quad (6)$$

Ou como definida por Gross e Waltner (1995):

$$MN = (\log ( K / F )) / \sigma t \quad (7)$$

Onde:

MN = índice de *moneyness*;

K = preço de exercício da opção;

F = preço do ativo-objeto da opção;

t = período de tempo até a data de vencimento da opção;

Mesmo ao utilizar o *moneyness* no lugar do preço de exercício para a análise das volatilidades implícitas, o sorriso também é encontrado. Todavia, segundo Cont e Fonseca (2002), ao analisar a superfície de volatilidade utilizando o *moneyness*, o comportamento da volatilidade implícita varia menos com o decorrer do tempo do que quando a volatilidade implícita é expressa em função dos preços de exercício.

Para demonstrar a importância da análise da superfície de volatilidade implícita de opções financeiras, Alentorn (2004) estimou um modelo que representasse a volatilidade constante de um dos pressupostos de Black & Scholes para comparar com um modelo que levava em conta o sorriso da volatilidade e com um modelo que considerava adicionalmente a

mudança no comportamento do sorriso ao longo do tempo. Os resultados foram que o modelo-base foi superado pelo modelo que considerava o sorriso da volatilidade, mas o modelo que também considerava as mudanças no sorriso ao longo do tempo era o que mais conseguia explicar a variância da volatilidade dos dados.

### 3 BASE DE DADOS E METODOLOGIA

Este terceiro capítulo está dividido em duas seções. A primeira seção consiste da descrição da base de dados. Nesta seção, é explicado como que a base de dados foi obtida e é feita também uma descrição de todas as informações nela contida. A seção seguinte consiste da descrição da metodologia de pesquisa adotada no resto deste trabalho. Nesta seção, é descrita como que a base de dados foi tratada, é explicado como foram realizadas as primeiras observações, são determinados os diversos modelos de regressão e suas variáveis independentes, além da descrição de uma estratégia de *day-trade* de opções in-the-money com o objetivo de obter lucros e outros testes com o objetivo de verificar os resultados encontrados.

#### 3.1 BASE DE DADOS

Para a realização dos testes e análises descritos neste trabalho, foi utilizada uma base de dados fornecida pelo aluno do curso de Doutorado Cláudio Henrique da Silveira Barbedo do Instituto Coppead da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Essa base de dados contém informações de todas as opções de compra de ações preferenciais da Telemar que foram negociadas na Bolsa de Valores de São Paulo a partir do dia 1 de dezembro de 2003 até 12 de março de 2004, assim como as cotações *intraday* das ações preferenciais da Telemar. Dentre as informações disponíveis nessa base de dados, há:

- a) A data de realização das negociações;
- b) A hora em que foi realizada a negociação;
- c) O número de negociações realizadas;
- d) O preço de exercício da opção de compra negociada;
- e) A quantidade de negócios;
- f) A cotação pela qual foi negociada a opção;
- g) A data de vencimento das opções de compra;
- h) O número de dias que faltam até o vencimento;
- i) A data e hora da negociação de ações da Telemar, TNLP04, mais próxima da negociação da opção em questão.

Em todos os trabalhos anteriores pesquisados que envolveram análises ou testes do fenômeno do sorriso da volatilidade implícita no preço de opções foi utilizado apenas preço de fechamento. Esse tipo de base de dados poderia com frequência levar a resultados enganosos. Para o cálculo do preço justo das opções através do modelo de Black-Scholes devem ser utilizadas informações de mercado que sejam verdadeiras em um determinado momento. Base de dados com preços de fechamento pode apresentar preços para uma ação ou uma opção que foi negociada poucos segundos antes do encerramento do pregão ou até mesmo alguns minutos ou horas. Dessa forma, o uso de preços de fechamento pode não ser o mais adequado para testar ou analisar os preços justos de opções ou a volatilidade implícita nesses preços como neste trabalho por levar a avaliações erradas ou por ser impossível de adotar certas estratégias de negociação que são testadas em muitos artigos acadêmicos. Assim, a hora em que as opções de compra e as ações da Telemar foram negociadas tem importância fundamental para controlar a sincronia dos preços e é o uso dessa informação que torna este trabalho diferente dos que já foram feitos anteriormente.

Além desses dados, também foram fornecidas pelo mesmo aluno as taxas de *spread* entre a melhor oferta de compra e a melhor oferta de venda para cada negociação. Essas taxas de *spread* foram estimadas em trabalhos anteriores realizados por esse aluno através da teoria de apreçamento de opções financeiras, considerando o *spread* como sendo uma opção que o investidor tem que permite a este vender ou comprar seus ativos do *market maker* a qualquer momento pelo preço justo. A estimação do prêmio pago por essa opção será a estimação do *spread* e essa estimação pode ser feita através do método de árvore binomial ou pelo método de diferença finita, sendo ambas as metodologias adotadas para essa estimação descritas em Barbedo e Lemgruber (2005).

Além das cotações de mercado das ações e das opções, para estimar a volatilidade implícita nas opções de compra segundo o modelo de Black-Scholes, é necessário saber também qual a taxa de juros livre de qualquer tipo de risco, seja risco de mercado ou risco de crédito, considerada pelos agentes econômicos. A taxa de juros utilizada neste trabalho como taxa de juros livre de risco de mercado, mas que apresenta algum nível de risco de crédito, foi a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário de 1 dia negociados na Bolsa de Mercadorias e Futuros. Para o cálculo da taxa de juros livre de risco até o prazo de vencimento, são realizados interpolações lineares com contratos com prazos maiores.

Para a análise dos dados, realização dos testes e para a estimação da volatilidade implícita nos preços das opções, foi necessário um tratamento na base de dados sendo que para isso foi utilizada a metodologia descrita por Melo e Barbedo (2005). Assim, para que as informações das opções de compra possam ser utilizadas nas análises e testes, é necessário que a opção em questão tenha sido: a) negociada na Bolsa de Valores após as ações preferenciais de Telemar terem sido negociadas por um preço constante durante 5 minutos, b) negociadas 10 minutos depois da abertura do pregão e 10 minutos antes do encerramento deste, e c) que tenham ocorrido, no mínimo, 10 negociações de contratos de opções. Este

tratamento na base de dados é necessário, pois, segundo Melo e Barbedo (2005), fica garantido que o preço das opções teve tempo suficiente para se ajustar ao preço corrente do ativo-objeto, que os problemas com manipulação de preços ou negociação de ativos sem ser no preço justo não ocorram já que são mais comuns no início do pregão e no final, e que os preços utilizados são os de negociações realizadas em períodos com alguma liquidez relevante. Assim, ao se calcular a volatilidade implícita no preço das opções, serão de fato utilizadas a mesma cotação do ativo-objeto e da opção de compra que o mercado estava observando no momento.

Após todo o tratamento descrito, a base de dados ficou restrita a opções de compra com 10 preços de exercício distintos, variando de R\$ 36,00 até R\$ 64,00, e com vencimento em 19 de janeiro de 2004, opções de compra com 14 preços de exercício distintos, variando de R\$ 38,00 até R\$ 62,00, e com vencimento em 16 de fevereiro de 2004 e opções de compra com 7 preços de exercício distintos, variando de R\$ 36,00 até R\$ 48,00, e com vencimento em 15 de março de 2004. No total, sobraram 9.358, 5905 e 6.388 informações de negociações de opções de compra com vencimento em, respectivamente, janeiro, fevereiro e março de 2004.

Dentre as opções com vencimento em janeiro, o preço de exercício teve que ser ajustado a partir do dia 6 de janeiro de 2004 devido à distribuição de dividendos para detentores de ações preferenciais da Telemar. As opções com vencimento em fevereiro tiveram seus preços de exercício ajustados após a distribuição de dividendos em 6 e 30 de janeiro de 2004. Já as opções com vencimento em março tiveram seus preços de exercício ajustados a partir do dia 1 de março de 2004.

## 3.2 METODOLOGIA

Para cada uma das três datas de vencimento foi executada uma bateria de tarefas. A primeira delas foi utilizar a base de dados disponível para calcular a volatilidade implícita nos preços de opções de compra segundo o modelo de Black-Scholes. O objetivo foi estimar um valor para a volatilidade que fosse com que o modelo de Black-Scholes apresentasse um preço justo igual ao preço observado no mercado. Para isto, foi desenvolvida uma macro no programa Visual Basic contendo um algoritmo que alterasse o valor da volatilidade até que o preço de Black-Scholes não divergisse do preço de mercado.

A tarefa seguinte foi calcular para cada opção de compra o índice de *moneyness*, que indica o quão dentro do dinheiro a opção está. O método usado para a estimação deste índice foi o mesmo encontrado em Ederington e Guan (2002) e que já foi descrito em capítulos anteriores. O objetivo aqui foi obter um índice que pudesse tornar as opções comparáveis independentemente do valor pelo qual o ativo-objeto estava sendo negociado. Este índice foi usado em gráficos que exibem as volatilidades implícitas encontradas no eixo das ordenadas, ficando o índice de *moneyness* no eixo das abscissas. A base de dados que foi construída até esta etapa foi chamada de base de dados original.

A seguir, como terceira tarefa, todas as informações das negociações *intraday* foram separadas em intervalos de 1 hora, sendo que o primeiro intervalo começa às 11:00, enquanto que o último intervalo começa às 19:00. Em cada um desses intervalos, foram selecionadas para cada opção de compra a negociação que foi realizada mais próxima possível do meio do intervalo. O objetivo desse critério adotado foi fazer com que a comparação entre as volatilidades implícitas em cada intervalo fosse feita entre opções de compra que foram negociadas em horários o mais próximo possível. Caso seleccionássemos aleatoriamente as

negociações dentro do intervalo, em muitos casos poderíamos comparar indevidamente uma opção com outra que foi negociada quase uma hora depois. A base de dados que foi construída até esta etapa foi chamada de base de dados tratada.

As volatilidades implícitas das opções de compra que passaram por este último filtro foram plotadas em gráficos de dispersão com o valor da volatilidade implícita no eixo das ordenadas e o índice de *moneyness* no eixo das abscissas para que fosse observada a existência ou não do sorriso da volatilidade. Regressões polinomiais de ordem 2 foram estimadas para os dados contidos nesses gráficos com o objetivo de facilitar a observação do sorriso de volatilidade implícita caso ele existisse.

Em seguida, as taxas de *spread* foram adicionadas ao valor de negociação das opções para que a volatilidade implícita fosse novamente estimada. O Bovespa não fornece informações que indiquem se o preço negociado de um determinado ativo partiu de uma ordem de compra ou de uma ordem de venda. Como a ordem de compra é maior que a ordem de venda, as taxas de *spread* foram adicionadas porque foi considerado que todos os preços contidos na base de dados eram oriundos de uma ordem de venda. De posse dessas novas estimativas, um novo gráfico de dispersão contendo as volatilidades implícitas nos preços com e sem *spread* foi construído. O objetivo aqui foi observar se o sorriso da volatilidade implícita só existia devido à presença de *spread* no mercado. Caso houvesse uma diferença entre as curvas das regressões polinomiais de ordem 2 das volatilidades implícitas com e sem *spread* grande o suficiente para caber uma reta paralela ao eixo das abscissas, isso levaria à conclusão de que há possibilidades de o sorriso diminuir ou até mesmo desaparecer com a redução dos *spread* entre as ordens de compra e de venda. Caso contrário, as taxas de *spread* do mercado não seriam o único motivo para a existência dessa anomalia.

Após os resultados com a introdução das taxas de *spread*, foram construídas tabelas que indicam a volatilidade implícita média para cada preço de exercício em cada intervalo de

1 hora. O objetivo da construção dessas tabelas foi tentar identificar se havia algum comportamento diferenciado do sorriso de volatilidade ao longo do dia. Tentou-se identificar se: a) a média da volatilidade implícita das opções aumentou, diminuiu ou não mudou ao longo do dia; b) o sorriso de volatilidade implícita permaneceu inalterado ao longo do dia, acentuou ou atenuou; c) as mudanças no comportamento do sorriso de volatilidade implícita foram causadas principalmente por opções in-the-money, at-the-money, out-the-money ou indiferente ao quão dentro do dinheiro a opção estava.

Por fim, como foi identificado que havia alguma mudança no comportamento do sorriso de volatilidade implícita ao longo do dia, alguns modelos de regressão foram estimados no software E-views utilizando todas as informações da base de dados original. Os modelos de regressão que foram estimados nesta tarefa são os seguintes:

Modelo 1:  $\beta_0$

Modelo 2:  $\beta_0 + \beta_1 \text{ moneyness} + \beta_2 \text{ moneyness}^2$

Modelo 3:  $\beta_0 + \beta_1 \text{ moneyness} + \beta_2 \text{ moneyness}^2 + \beta_3 \text{ hora}$

Modelo 4:  $\beta_0 + \beta_1 \text{ moneyness} + \beta_2 \text{ moneyness}^2 + \beta_3 \text{ hora} + \beta_4 \text{ hora}^2 + \beta_5$   
 $\text{hora} * \text{moneyness}$

Modelo 5:  $\beta_0 + \beta_1 \text{ moneyness} + \beta_2 \text{ moneyness}^2 + \beta_3 \text{ hora} + \beta_4 \text{ hora}^2 + \beta_5$   
 $\text{hora} * \text{moneyness} + \beta_6 \text{ hora}^2 * \text{moneyness}$

O Modelo 1 nada mais é que a média das volatilidades implícitas nas opções de compra que foram negociadas. O Modelo 2 tem como objetivo identificar a existência ou não do sorriso de volatilidade nas opções de compra da Telemar que constam na base de dados utilizada. O Modelo 3 estima o efeito do sorriso de volatilidade implícita e mais um efeito linear da hora do dia em que a opção foi negociada. O Modelo 4 apresenta o fenômeno do

sorriso de volatilidade implícita, um efeito não-linear da hora do dia em que a opção foi negociada e ainda por cima diferencia o efeito da hora de negociação para opções com preços de exercício diferentes. O Modelo 5 é uma expansão do Modelo 4, incluindo um efeito não-linear da hora em que a opção foi negociada para as opções com preços de exercício distintos.

Para que os Modelos 3, 4 e 5 pudessem ser estimados, a variável hora foi trabalhada de forma a se comportar como uma variável contínua começando pelo numeral 11, que representa o horário das 11 horas. Cada intervalo adicional de 60 minutos foi representado pela adição de 1 a esse numeral e cada minuto adicional foi representado pela adição de 1/60 a esse numeral. Dessa forma, os horários de 12 horas, de 13 horas e 30 minutos e de 16 horas e 51 minutos foram representados por 12,00 por 13,50 e por 16,85 respectivamente.<sup>7</sup>

Ainda com o software E-views, para cada coeficiente das regressões foram testadas as hipóteses nulas de que esses coeficientes eram nulos para 5% de nível de significância. O  $R^2$  e o  $R^2$  ajustado também foram calculados para cada regressão. O objetivo dessas regressões e testes de hipótese foi comprovar se o sorriso de volatilidade implícita tinha relação estatisticamente significativa com a hora do dia em que as opções foram negociadas. Deve-se atentar para o fato de que, em artigos de finanças, o  $R^2$  e o  $R^2$  ajustado geralmente apresentam valores bem baixos. Portanto, neste trabalho, estas estatísticas podem apresentar valores baixos, mas que não devem ser alvo de críticas por serem aceitos tais valores em artigos de finanças.

Após serem obtidas algumas conclusões, alguns testes para essas conclusões foram executados. Primeiramente, foi adotada uma estratégia de compra e venda de opções com o objetivo de ganhar dinheiro de acordo com as conclusões obtidas. As opções utilizadas foram as com preços de exercício iguais a 40, 42, 44 e 46 por terem sido, dentre as opções dentro do dinheiro, as que apresentaram maior liquidez. Essas opções dentro do dinheiro foram as

---

<sup>7</sup> A variável hora poderia ser representada por diversas outras maneiras. Se esta variável se modificar, simples transformações lineares indicarão a nova regressão.

escolhidas para fazer a estratégia por terem apresentado, de acordo com os resultados da seção seguinte, as maiores quedas de volatilidades implícitas. Foi utilizada a base de dados tratada e apenas os dias em que houve negociações da mesma opção em pelo menos dois intervalos de 1 hora diferentes. Quando houve três ou mais intervalos de 1 hora em que a mesma opção foi negociada, foram escolhidos os intervalos que apresentaram a maior distância de tempo. Esse teste foi, em seguida, repetido considerando também as taxas de *spread* para que fosse verificado se as oportunidades de lucro foram permitidas pelo mercado. Para analisar estes resultados, foi estimado o Modelo 1 para os lucros obtidos e seu coeficiente testado aos níveis de significância já citados no parágrafo anterior.

Em segundo lugar, foi analisada a mudança na volatilidade implícita nas opções do final do dia para o início do dia seguinte de negociação. O objetivo aqui foi identificar se o comportamento que as volatilidades implícitas nas opções tinham no *intraday* nada mais é do que uma continuação do comportamento diário. Se com a aproximação do dia de vencimento as volatilidades implícitas, por exemplo, caíssem, os testes estatísticos poderiam indicar que essas volatilidades tendem a cair ao longo do dia. Todavia, esse comportamento *intraday* seria apenas uma continuação da tendência de queda dessa variável de análise. Um outro exemplo do que poderia acontecer seria as volatilidades implícitas permanecerem constantes ao final do dia até a data de vencimento, mas ao longo do dia apresentarem tendências de queda e que, portanto, do final de um dia para o início do dia seguinte, haveria um salto nas volatilidades implícitas para, novamente, caírem ao longo do dia. A metodologia aqui empregada foi usar a base de dados tratada para selecionar o primeiro dia em que há negociações de opções no intervalo das 17 às 18 horas e que no dia seguinte houvesse negociação de opções no intervalo das 11 às 12 horas. Foi selecionado também o último dia em que houve negociação de opções no intervalo das 11 às 12 horas e que no dia anterior houve negociação das 17 às 18 horas. Assim, a base de dados ficou resumida apenas às opções negociadas nos intervalos de 11 às

12 horas e de 17 às 18 horas, sendo que no primeiro dia só foram usadas as negociações de 17 às 18 horas, enquanto que no último dia foram usadas apenas as negociações de 11 às 12 horas. Tal metodologia permitiu que fossem identificadas tendências entre o último horário de negociação de um dia e o primeiro horário de negociação do dia seguinte caso elas existissem.

## 4 RESULTADOS

Este capítulo compreende os resultados encontrados através da metodologia de pesquisa que foi descrita no capítulo anterior. O conteúdo deste capítulo está dividido em 5 seções. Nas três primeiras seções, estão todos os resultados encontrados utilizando apenas a base de dados tratada, sendo que na primeira seção estão todos os resultados encontrados para as opções com data de vencimento em 19 de janeiro de 2004, enquanto que na segunda seção estão os resultados encontrados para as opções com data de vencimento em 16 de fevereiro de 2004 e na terceira seção estão os resultados encontrados para as opções com data de vencimento em 15 de março de 2004. Na quarta seção deste capítulo, são apresentados os resultados obtidos com a estimação dos diversos modelos de regressão para as três datas de vencimento. Na quinta e última seção, são apresentados os resultados obtidos com a estratégia de *day-trade*

que deveria obter ganhos positivos segundo os resultados apresentados nas quatro primeiras seções, além de mais um teste que verifica se os comportamentos *intraday* que foram identificados não passam de uma continuação da mudança do sorriso da volatilidade implícita entre os dias.

### 4.1 SORRISO DA VOLATILIDADE IMPLÍCITA EM OPÇÕES COM VENCIMENTO EM 19 DE JANEIRO DE 2004

O primeiro resultado encontra-se na Figura 1 abaixo. Esta Figura 1 contém um gráfico de dispersão onde o eixo das ordenadas representa a volatilidade implícita das opções de compra da Telemar com vencimento em 19 de janeiro de 2004 e o eixo das abscissas representa o índice de *moneyness*. Os dados que estão representados no gráfico por pontos representam as opções que passaram pelo filtro citado na metodologia de pesquisa e fazem parte da base de dados tratada, assim, o gráfico contém apenas as opções que ficaram o mais próximo possível do meio do intervalo de 1 hora. A linha contínua desenhada no gráfico representa a regressão polinomial de ordem 2 desses dados.

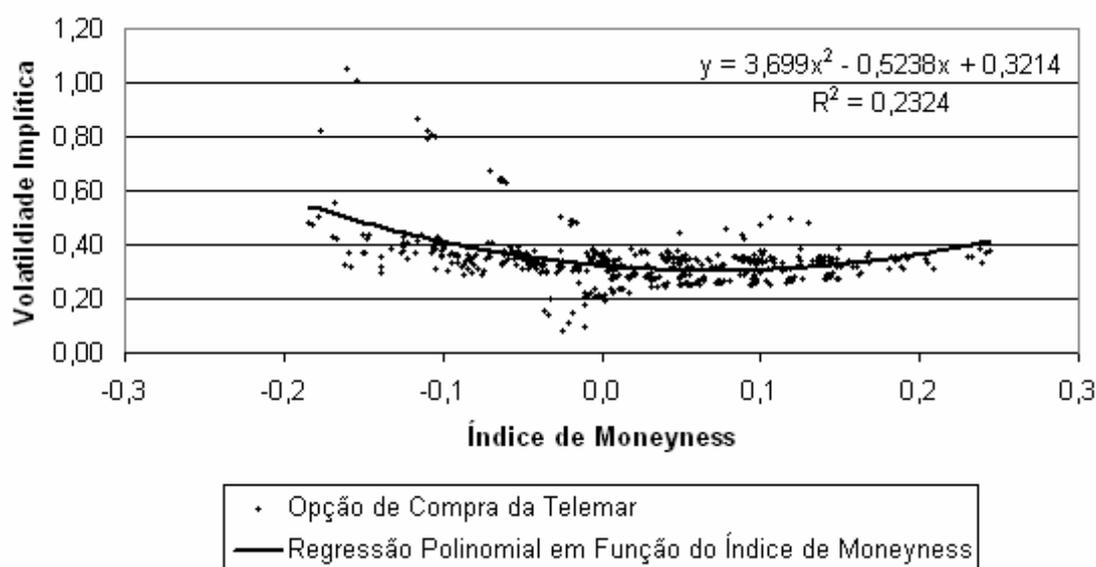


Figura. 1. Gráfico de dispersão com a volatilidade implícita nos preços das opções de compra de Telemar representada pelo eixo das ordenadas e o índice de moneyness representado pelo eixo das abscissas. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 19 de janeiro de 2004. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. A linha contínua no gráfico representa a curva de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas das opções do gráfico de dispersão em função do índice de moneyness. A função da regressão e seu  $R^2$  também são apresentados na figura.

Através da observação dessa figura e dos resultados apresentados pela regressão polinomial, percebe-se que há o fenômeno do sorriso de volatilidade implícita nas opções de compra de Telemar com vencimento em 19 de janeiro de 2004, fazendo com que as opções

em cima do dinheiro sejam as mais sub-avaliadas. Este resultado faz com que, na regressão polinomial, o coeficiente da variável quadrática seja positivo. Percebe-se também que as opções mais dentro do dinheiro são mais valorizadas pelo mercado do que as opções mais fora do dinheiro para as opções com este vencimento. Este resultado implica em um coeficiente negativo para a variável independente.

A Figura 2 seguinte apresenta duas regressões polinomiais de ordem 2, uma para as volatilidades implícitas nos preços das ordens de venda e a outra para as volatilidades implícitas nos preços das ordens de compra. Como já foi mencionado na seção Metodologia, foi observado se havia diferença suficiente entre as curvas das duas regressões para caber uma reta paralela ao eixo das abscissas.

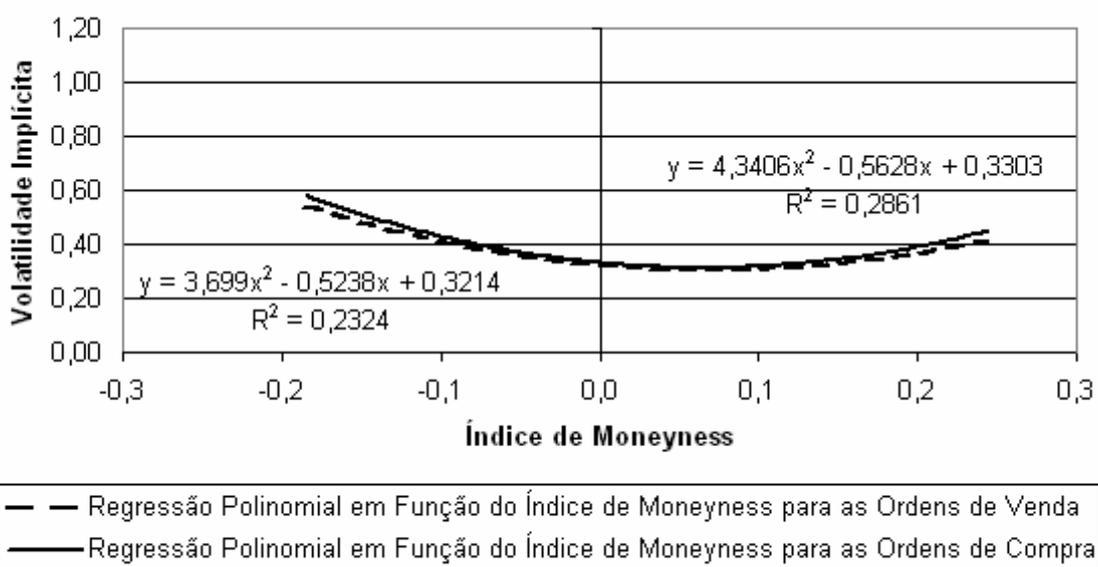


Figura. 2. Gráfico com a volatilidade implícita nos preços das opções de compra de Telemar representada pelo eixo das ordenadas e o índice de moneyness representado pelo eixo das abscissas. As linhas no gráfico representam curvas de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas em opções. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 19 de janeiro de 2004 e as taxas de spread estimada para essas opções. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. A linha tracejada e a linha contínua no gráfico representam, respectivamente, curvas de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas nos preços das ordens de venda e das ordens de compra das opções em função do índice de moneyness. As funções das regressões e seus respectivos  $R^2$  também são apresentados na figura.

Os resultados apresentados pela Figura 2 indicam que o *spread* entre os preços das ordens de compra e das ordens de venda causa uma diferença na volatilidade implícita. Essa diferença é menos acentuada nas opções em cima do dinheiro e maior nas opções dentro do dinheiro e fora do dinheiro, fazendo com que o coeficiente da variável quadrática da regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas nos preços das ordens de compra seja maior que o da regressão das volatilidades implícitas nos preços das ordens de venda. Ao examinar o segundo elemento da regressão polinomial, o fato do coeficiente na regressão das ordens de compra ser mais negativo que o coeficiente na regressão das ordens de venda indica que o aumento na volatilidade implícita quando se acrescenta o *spread* deve ser maior nas opções mais dentro do dinheiro do que as opções mais fora do dinheiro. Todavia, essa diferença é tão pequena que não chega a ser percebida visualmente pelo gráfico da Figura 2.

Com relação à hipótese da taxa de *spread* explicar a existência do sorriso de volatilidade, ela é claramente rejeitada pela Figura 2, pois não há espaço suficiente entre as curvas das duas regressões polinomiais para traçar uma reta paralela ao eixo das abscissas. Em outras palavras, estes resultados indicam que o *spread* não é capaz de explicar a presença do sorriso de volatilidade implícita para as opções que venceram em 19 de janeiro de 2004.

Até o momento, todos os resultados encontrados diziam respeito a opções que foram negociadas em qualquer hora do dia. As Tabelas 1 e 2 a seguir já apresentam os resultados das regressões polinomiais obtidas pelo software E-views para as volatilidades implícitas nos preços das opções de acordo com a hora do dia em que foram negociadas. Essas regressões foram obtidas através das volatilidades implícitas da base de dados tratada.

Tabela 1

Tabela contendo a estimação de modelos de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de moneyness. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 19 de janeiro de 2004. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. Modelos de regressão polinomiais de ordem 2 foram estimados para cada intervalo de 1 hora de negociação e também para todas as opções juntas independentes do horário em que foram negociadas.

	Variável Independente	Coefficiente de Regressão	Desvio-Padrão	Estatística-t	p-valor
dia inteiro	intercepto	0,320523	0,004958	64,643999	0,000000
	moneyness	-0,520196	0,047395	-10,975722	0,000000
	moneyness <sup>2</sup>	3,717475	0,401850	9,250908	0,000000
entre 11 e 12 horas	intercepto	0,329119	0,016048	20,507869	0,000000
	moneyness	-0,754146	0,155745	-4,842180	0,000008
	moneyness <sup>2</sup>	4,989439	1,172522	4,255305	0,000067
entre 12 e 13 horas	intercepto	0,321482	0,017650	18,214006	0,000000
	moneyness	-0,557542	0,157890	-3,531199	0,000899
	moneyness <sup>2</sup>	4,806838	1,838029	2,615213	0,011757
entre 13 e 14 horas	intercepto	0,319909	0,010142	31,542538	0,000000
	moneyness	-0,401353	0,095412	-4,206515	0,000069
	moneyness <sup>2</sup>	3,951466	0,906200	4,360481	0,000040
entre 14 e 15 horas	intercepto	0,324664	0,011470	28,304371	0,000000
	moneyness	-0,579425	0,125184	-4,628593	0,000011
	moneyness <sup>2</sup>	4,079923	0,926358	4,404261	0,000027
entre 15 e 16 horas	intercepto	0,330517	0,017993	18,369302	0,000000
	moneyness	-0,692285	0,197395	-3,507095	0,001113
	moneyness <sup>2</sup>	4,407728	1,666694	2,644593	0,011539
entre 16 e 17 horas	intercepto	0,316330	0,012857	24,603519	0,000000
	moneyness	-0,422775	0,110250	-3,834692	0,000275
	moneyness <sup>2</sup>	2,606188	0,951396	2,739331	0,007829
entre 17 e 18 horas	intercepto	0,306135	0,011127	27,513984	0,000000
	moneyness	-0,378307	0,096168	-3,933808	0,000191
	moneyness <sup>2</sup>	2,776556	0,907228	3,060483	0,003104
entre 18 e 19 horas	intercepto	0,252391	0,020273	12,449519	0,006390
	moneyness	-1,165293	0,698281	-1,668803	0,237099
	moneyness <sup>2</sup>	19,205052	7,762695	2,474019	0,131831

Pela observação dos resultados na Tabela 1, percebe-se que tanto quando usamos a volatilidade implícita nos preços das opções negociadas a qualquer hora do dia quanto quando usamos opções negociadas em períodos de 1 hora separadamente, o fenômeno do sorriso da volatilidade implícita persiste. Isto é observado devido ao coeficiente positivo na regressão polinomial para a variável independente *moneyness*<sup>2</sup> em todos os intervalos de 1 hora contidos

na Tabela 1. Ademais, o coeficiente para a variável independente *moneyness*<sup>2</sup> foi positivo e estatisticamente significativo a um nível de significância de 5% para todos os intervalos de 1 hora que se situaram entre 11 horas e 18 horas. Todavia, para o intervalo de 18 às 19 horas, o coeficiente não foi estatisticamente significativo a um nível de 5% de significância.

Tabela 2

Tabela contendo informações adicionais a respeito da estimação de modelos de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de *moneyness* da Tabela 1. São apresentados nesta tabela o  $R^2$  para os modelos de regressão de cada intervalo de 1 hora de negociação, assim como o número de observações na amostra disponível para cada modelo, a estatística-F que testa a hipótese de que todos os coeficientes da regressão são nulos e o p-valor dessa estatística.

	número de observações	$R^2$	Estatística-F	p-valor
dia inteiro	502	0,232	75,5049	0,0000
entre 11 e 12 horas	69	0,306	14,5718	0,0000
entre 12 e 13 horas	53	0,248	8,2247	0,0008
entre 13 e 14 horas	80	0,336	19,4392	0,0000
entre 14 e 15 horas	102	0,211	13,2258	0,0000
entre 15 e 16 horas	44	0,243	6,5750	0,0033
entre 16 e 17 horas	72	0,191	8,1612	0,0007
entre 17 e 18 horas	75	0,204	9,2545	0,0003
entre 18 e 19 horas	5	0,786	3,6818	0,2136

Por outro lado, os dados apresentados pela Tabela 2, que contém mais detalhes a respeito das regressões apresentadas pela Tabela 1, indicam que os resultados do período de 18 às 19 horas foram baseados em uma amostra muito pequena. Tal fato pode comprometer qualquer teste estatístico – podendo ser o motivo deste intervalo ter apresentado  $R^2$  e p-valor bem maiores que os demais – e, portanto, seus resultados devem ser observados com ressalvas.<sup>8</sup> Ainda na Tabela 2, é testada a hipótese de que todos os coeficientes das regressões polinomiais para cada hora do dia são nulos. Os resultados indicam que essa hipótese deve ser rejeitada a um nível de 5% de significância em todos os intervalos de 1 hora do dia, exceto para o intervalo das 18 às 19 horas.

<sup>8</sup> No limite, se o número de observações for igual a “n” e o modelo de regressão for um modelo polinomial de ordem “n-1”, o  $R^2$  será exatamente igual a 100%.

Voltando à Tabela 1, um segundo resultado interessante que também é demonstrado diz respeito ao comportamento do sorriso de volatilidade ao longo do dia. Com exceção das 18 às 19 horas, percebe-se que há uma tendência de, com o passar das horas do dia, o sorriso da volatilidade implícita ficar cada vez mais plano. Tal fato é observado através da redução do coeficiente da variável independente *moneyness*<sup>2</sup> nas regressões polinomiais ao longo do dia. Adicionalmente, há uma outra tendência que é a de o segundo coeficiente da regressão polinomial ser mais negativo no início do dia e ir ficando cada vez menos negativo. Tal constatação indica que além da curva de regressão se tornar cada vez mais plana, ela também vai ficando cada vez menos inclinada. Em outras palavras, se já foi constatado em trabalhos anteriores que há o fenômeno do sorriso de volatilidade implícita usando dados de fechamento e que as opções dentro do dinheiro são mais valorizadas que as fora do dinheiro, há indícios de que esses fenômenos são bem mais acentuados em outras horas do dia, sendo apenas percebido quando se trabalha com dados *intraday*.

## 4.2 SORRISO DA VOLATILIDADE IMPLÍCITA EM OPÇÕES COM VENCIMENTO EM 16 DE FEVEREIRO DE 2004

Ao se plotar as volatilidades implícitas da base de dados tratada no eixo das ordenadas e o índice de *moneyness* no eixo das abscissas, obtêm-se como resultado o gráfico de dispersão que se encontra na Figura 3 abaixo.

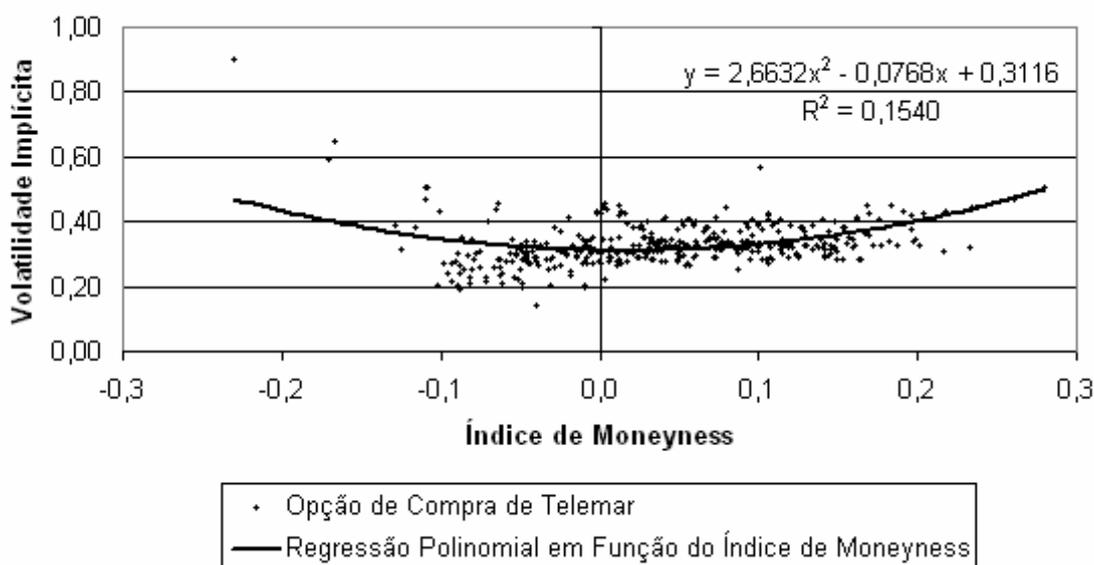


Figura. 3. Gráfico de dispersão com a volatilidade implícita nos preços das opções de compra de Telemar representada pelo eixo das ordenadas e o índice de moneyness representado pelo eixo das abscissas. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 16 de fevereiro de 2004. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. A linha contínua no gráfico representa a curva de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas das opções do gráfico de dispersão em função do índice de moneyness. A função da regressão e seu  $R^2$  também são apresentados na figura.

A Figura 3 contém também a estimativa de uma regressão polinomial de ordem 2 para os dados plotados no gráfico de dispersão e sua curva está representada por uma linha contínua que atravessa os dados. O coeficiente positivo para a variável independente quadrática da regressão indica que também há a anomalia do sorriso da volatilidade implícita nos preços das opções com vencimento em 16 de fevereiro de 2004. Todavia, diferente do caso das opções com vencimento em janeiro de 2004, o segundo coeficiente da regressão polinomial é positivo para as opções com vencimento em fevereiro, o que indica que as opções fora do dinheiro são mais valorizadas comparativamente com as opções dentro do dinheiro. Mas as opções que estão em cima do dinheiro ainda tendem a ser as mais subavaliadas quando comparadas com as demais.

Os efeitos nas volatilidades implícitas ao se adicionar o *spread* estimado aos preços das opções estão apresentados na Figura 4 abaixo. Esta figura apresenta as curvas de regressão polinomial de ordem 2 estimadas para as volatilidades implícitas com e sem *spread* entre os preços das ordens de compra e de venda das opções. Os valores dos coeficientes estimados também são apresentados nessa figura.

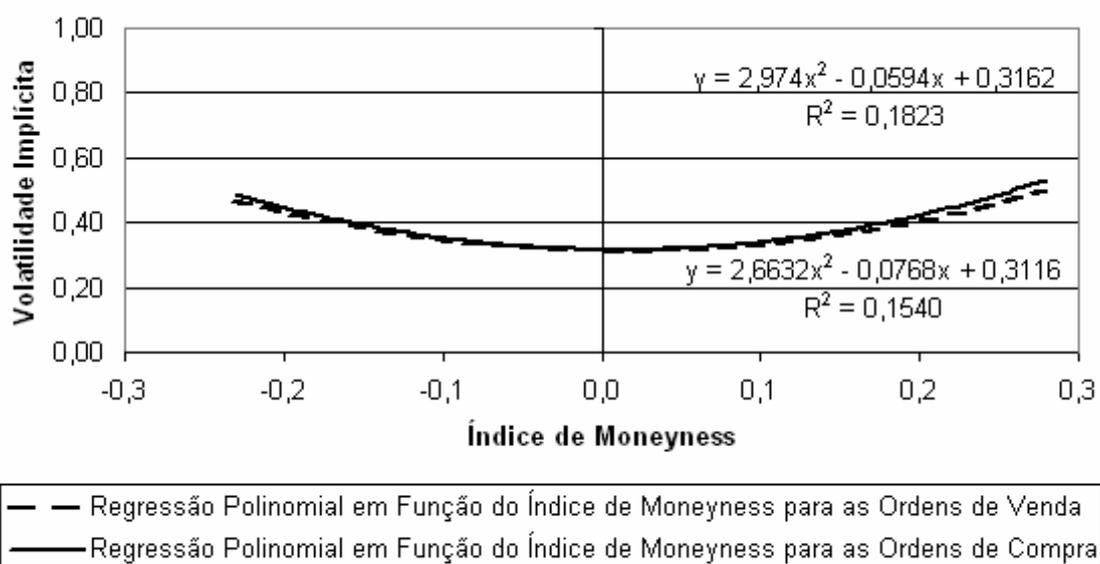


Figura. 4. Gráfico com a volatilidade implícita nos preços das opções de compra de Telemar representada pelo eixo das ordenadas e o índice de moneyness representado pelo eixo das abscissas. As linhas no gráfico representam curvas de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas em opções. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 16 de fevereiro de 2004 e as taxas de *spread* estimada para essas opções. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. A linha tracejada e a linha contínua no gráfico representam, respectivamente, curvas de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas nos preços das ordens de venda e das ordens de compra das opções em função do índice de moneyness. As funções das regressões e seus respectivos  $R^2$  também são apresentados na figura.

Pelo que se pode observar na Figura 4, ao se considerar o *spread* nos preços das opções, as opções com vencimento em fevereiro de 2004 que estão em cima do dinheiro também são, assim como as com vencimento em janeiro de 2004, as que têm menor aumento da volatilidade implícita. Todavia, ao contrário do que ocorreu com as opções com vencimento em janeiro de 2004, as opções com vencimento em fevereiro que estão mais fora

do dinheiro apresentaram um aumento na sua volatilidade implícita bem maior que o aumento na volatilidade implícita das opções dentro do dinheiro. Estas constatações são visíveis no gráfico da Figura 4, mas também são apontadas pelos valores dos coeficientes das regressões polinomiais. O coeficiente da variável independente *moneyness*<sup>2</sup> fica ainda mais positivo quando consideramos o *spread*, e é o que está relacionado ao fato de as opções em cima do dinheiro serem as que menos sofrem mudanças em sua volatilidade implícita. Já o fato de as opções fora do dinheiro serem relativamente bem mais valorizadas que as opções dentro do dinheiro é apontado pelo aumento no segundo coeficiente da regressão polinomial.

Quanto à hipótese de que ao considerar as taxas de *spread* nos preços de negociações das opções o sorriso de volatilidade implícita poderia desaparecer, os resultados indicam que, novamente, essa anomalia ainda persistiria nas opções de compra da Telemar negociadas no Bovespa. O espaço observado entre a curva da regressão polinomial da volatilidade implícita considerando o *spread* e a curva de regressão sem o *spread* não é grande o suficiente para caber uma reta paralela ao eixo das abscissas. Assim, considerando ou não o *spread* entre os preços das ordens de compra e de venda, haverá opções que estão mais valorizadas pelo mercado do que outros com preços de exercício diferentes.

Os resultados obtidos com o software E-views na estimação das regressões polinomiais quando utilizamos a base de dados tratada dividida de acordo com a hora em que as opções são negociadas se encontram na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3

Tabela contendo a estimação de modelos de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de moneyness. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 16 de fevereiro de 2004. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. Modelos de regressão polinomiais de ordem 2 foram estimados para cada intervalo de 1 hora de negociação e também para todas as opções juntas independentes do horário em que foram negociadas.

	Variável Independente	Coefficiente de Regressão	Desvio-Padrão	Estatística-t	p-valor
dia inteiro	intercepto	0,311080	0,003713	83,788730	0,000000
	moneyness	-0,081446	0,045925	-1,773478	0,076849
	moneyness <sup>2</sup>	2,679140	0,340117	7,877121	0,000000
entre 11 e 12 horas	intercepto	0,314697	0,010587	29,725208	0,000000
	moneyness	0,409133	0,130008	3,146983	0,003631
	moneyness <sup>2</sup>	-1,102170	1,227590	-0,897832	0,376196
entre 12 e 13 horas	intercepto	0,292829	0,008994	32,558940	0,000000
	moneyness	0,504441	0,164707	3,062664	0,004925
	moneyness <sup>2</sup>	0,255097	1,062963	0,239986	0,812154
entre 13 e 14 horas	intercepto	0,320548	0,006116	52,415005	0,000000
	moneyness	0,490499	0,091499	5,360720	0,000001
	moneyness <sup>2</sup>	-1,789497	0,764945	-2,339380	0,021410
entre 14 e 15 horas	intercepto	0,317017	0,009726	32,595137	0,000000
	moneyness	0,002313	0,110733	0,020889	0,983387
	moneyness <sup>2</sup>	1,297259	0,833639	1,556141	0,123672
entre 15 e 16 horas	intercepto	0,340619	0,011741	29,010274	0,000000
	moneyness	-0,352559	0,154113	-2,287666	0,027663
	moneyness <sup>2</sup>	2,741532	1,441065	1,902435	0,064517
entre 16 e 17 horas	intercepto	0,312464	0,007277	42,939597	0,000000
	moneyness	0,212123	0,117244	1,809255	0,074897
	moneyness <sup>2</sup>	1,311147	0,744550	1,760992	0,082803
entre 17 e 18 horas	intercepto	0,299624	0,009227	32,471219	0,000000
	moneyness	-0,540382	0,085048	-6,353808	0,000000
	moneyness <sup>2</sup>	5,386218	0,586018	9,191216	0,000000
entre 18 e 19 horas	intercepto	0,288768	0,021957	13,151771	0,000045
	moneyness	1,145245	0,465125	2,462234	0,057072
	moneyness <sup>2</sup>	-2,669611	3,645630	-0,732277	0,496867

De acordo com essa Tabela 3, não foi em todas as horas do dia que se observou a existência do fenômeno do sorriso da volatilidade implícita. O coeficiente da variável independente quadrática foi positivo nos intervalos de 12 às 13 horas e de 14 às 18 horas, sendo que destes, apenas no intervalo de 17 às 18 horas o coeficiente foi significativamente positivo a um nível de significância de 5%. Nos demais intervalos, a um nível de 5% de

significância não se deve rejeitar a hipótese nula de que esse coeficiente era significativamente positivo. Nos intervalos de 11 às 12 horas, de 13 às 14 horas e de 18 às 19 horas, o coeficiente da variável independente quadrática chegou a apresentar valores negativos, mas apenas no intervalo de 13 às 14 horas é que esse coeficiente foi significativo a um nível de 5%.

Tabela 4

Tabela contendo informações adicionais a respeito da estimação de modelos de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de moneyness da Tabela 3. São apresentados nesta tabela o  $R^2$  para os modelos de regressão de cada intervalo de 1 hora de negociação, assim como o número de observações na amostra disponível para cada modelo, a estatística-F que testa a hipótese de que todos os coeficientes da regressão são nulos e o p-valor dessa estatística.

	número de observações	$R^2$	Estatística-F	p-valor
dia inteiro	438	0,15366	39,49005	0,00000
entre 11 e 12 horas	34	0,28736	6,25013	0,00524
entre 12 e 13 horas	30	0,53650	15,62600	0,00003
entre 13 e 14 horas	98	0,27247	17,78926	0,00000
entre 14 e 15 horas	82	0,04706	1,95080	0,14895
entre 15 e 16 horas	42	0,12563	2,80174	0,07296
entre 16 e 17 horas	70	0,30303	14,56519	0,00001
entre 17 e 18 horas	74	0,56839	46,75108	0,00000
entre 18 e 19 horas	8	0,73793	7,03940	0,03516

A Tabela 4 acima apresenta mais detalhes a respeito das regressões polinomiais obtidas pelo software E-views. Como pode ser observado, não foi apenas nos intervalos que apresentaram um número de observações muito baixo – como o intervalo das 18 às 19 horas – onde o sorriso da volatilidade implícita não ocorreu. Pela Tabela 4, o sorriso de volatilidade implícita não ocorreu também em horários com volumes grandes de amostra. Ainda na Tabela 4, também são apresentados os resultados do teste da hipótese de que todos os coeficientes da regressão polinomial de ordem 2 estimada são nulos. Apenas no intervalo das 14 às 16 horas é que a hipótese não é rejeitada a um nível de 5% de significância. Nos demais horários, essa hipótese deve ser rejeitada ao nível de significância especificado.

Voltando aos resultados da Tabela 3 a procura de algum padrão de comportamento, não foi encontrado qualquer padrão como o observado nas volatilidades implícitas nos preços das opções que venciam em janeiro. A única observação mais relevante é a de que, excluindo o período das 18 às 19 horas, o sorriso de volatilidade implícita surge a partir das 14 horas e permanece ao longo do dia. Outros comportamentos pertinentes não foram observados.

### 4.3 SORRISO DA VOLATILIDADE IMPLÍCITA EM OPÇÕES COM VENCIMENTO EM 15 DE MARÇO DE 2004

As volatilidades implícitas da base de dados tratada – apenas com as opções que foram negociadas as mais próximas possíveis do meio do intervalo de 1 hora – estão plotadas no gráfico de dispersão da Figura 5 abaixo. A volatilidade implícita está representada pelo eixo das ordenadas, enquanto que o eixo das abscissas indica o índice de *moneyness*. A curva contínua que atravessa os dados é obtida pela regressão polinomial de ordem 2 e seus coeficientes também são apresentados na figura.

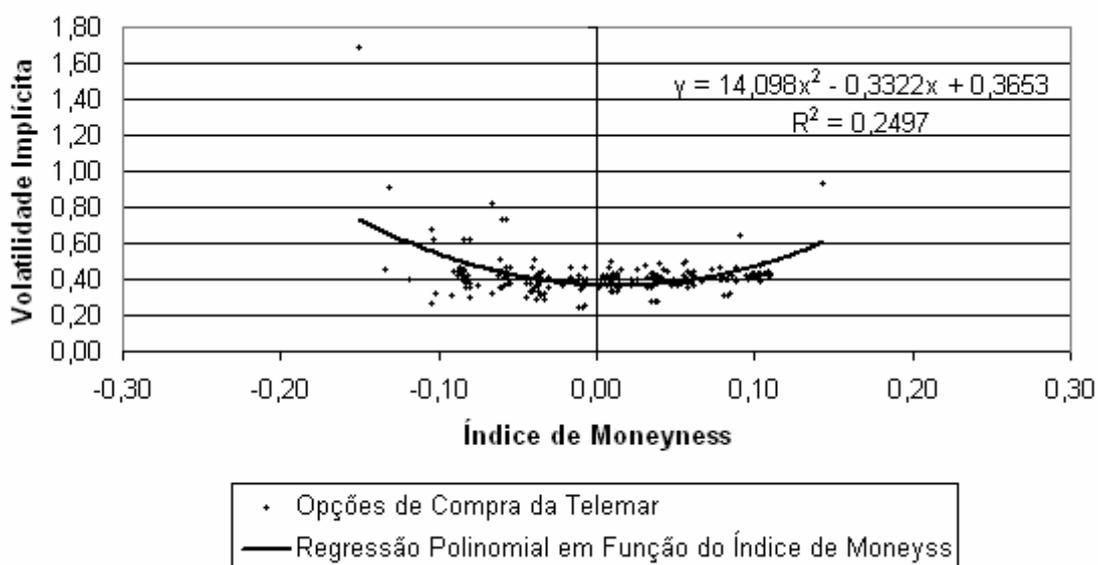


Figura. 5. Gráfico de dispersão com a volatilidade implícita nos preços das opções de compra de Telemar representada pelo eixo das ordenadas e o índice de moneyness representado pelo eixo das abscissas. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 15 de março de 2004. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. A linha contínua no gráfico representa a curva de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas das opções do gráfico de dispersão em função do índice de moneyness. A função da regressão e seu  $R^2$  também são apresentados na figura.

A curva de regressão polinomial indica que o sorriso de volatilidade implícita aparece quando usamos as opções com vencimento em 16 de fevereiro de 2004 e que são negociadas a qualquer hora do dia. O coeficiente positivo para a variável independente quadrática na regressão polinomial indica que as opções em cima do dinheiro são relativamente desvalorizadas quando comparadas com as opções dentro do dinheiro e fora do dinheiro. O valor negativo para o segundo coeficiente da regressão indica que as opções dentro do dinheiro são mais valorizadas quando comparadas com as opções fora do dinheiro. Este resultado está semelhante ao encontrado com as opções que venciam em janeiro de 2004.

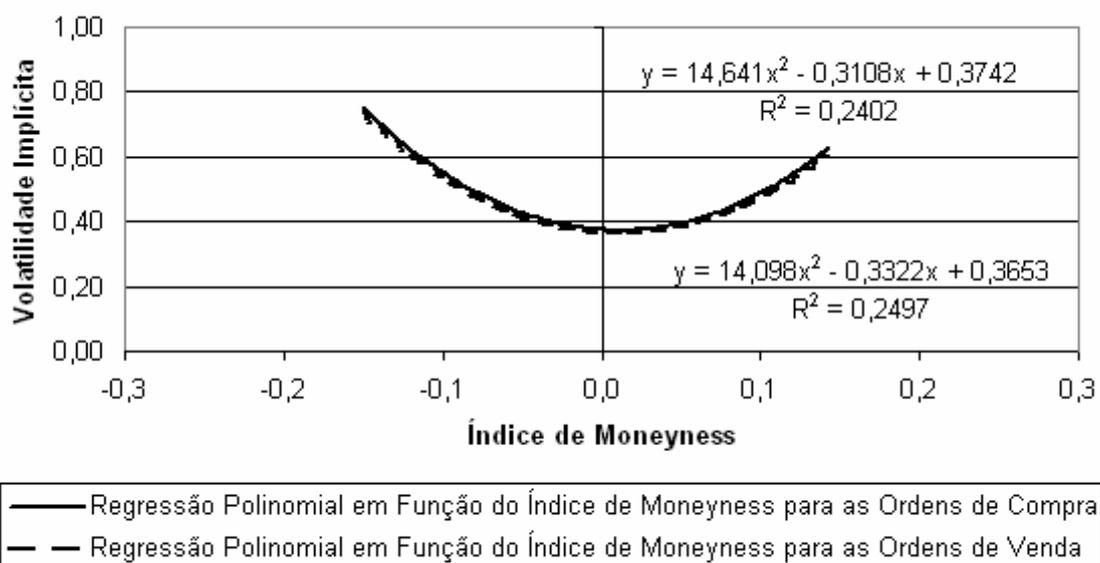


Figura. 6. Gráfico com a volatilidade implícita nos preços das opções de compra de Telemar representada pelo eixo das ordenadas e o índice de moneyness representado pelo eixo das abscissas. As linhas no gráfico representam curvas de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas em opções. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 15 de março de 2004 e as taxas de spread estimada para essas opções. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. A linha tracejada e a linha contínua no gráfico representam, respectivamente, curvas de regressão polinomial de ordem 2 das volatilidades implícitas nos preços das ordens de venda e das ordens de compra das opções em função do índice de moneyness. As funções das regressões e seus respectivos  $R^2$  também são apresentados na figura.

A Figura 6 acima apresenta a curva de regressão polinomial para as volatilidades implícitas nos preços com e sem o *spread* entre as ordens de compra e de venda. As diferenças entre as volatilidades implícitas são as menores quando comparadas com as opções que venciam em janeiro e em fevereiro de 2004, não sendo percebidas facilmente apenas pela visualização do gráfico. Todavia, ao se examinar os valores dos coeficientes da regressão, é constatado que as opções em cima do dinheiro são as que apresentam menor aumento em sua volatilidade implícita quando são acrescentados os *spreads* estimados. Tal fato é observado pelo coeficiente da variável independente quadrática que é maior com o *spread* do que sem o *spread*. Ademais, o segundo coeficiente da regressão polinomial reduz-se ligeiramente quando são consideradas as taxas de *spread*. Isso indica que as opções fora do dinheiro têm

um aumento ligeiramente maior em sua volatilidade implícita do que o aumento na volatilidade implícita das opções dentro do dinheiro.

Todavia, assim como nas opções com vencimento em janeiro e em fevereiro de 2004, não há como ser desenhada uma reta paralela ao eixo das abscissas que se encontre entre as curvas de regressão das volatilidades implícitas sem *spread* e com *spread*. Isso significa que o sorriso da volatilidade implícita é tão acentuado que persistiria mesmo sendo levadas em consideração as taxas de *spread* entre as ordens de compra e as ordens de venda que existem no mercado.

A tabela 5 abaixo apresenta os resultados obtidos pelo software E-views quando são estimadas as regressões polinomiais usando a base de dados tratada dividida segundo a hora em que as opções foram negociadas no Bovespa.

Tabela 5

Tabela contendo a estimação de modelos de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de moneyness. São usadas as volatilidades implícitas nas opções de compra de Telemar negociadas na Bovespa com vencimento em 15 de março de 2004. Apenas uma opção de cada preço de exercício foi extraída da base de dados para representar cada intervalo de 1 hora de negociação. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro. Modelos de regressão polinomiais de ordem 2 foram estimados para cada intervalo de 1 hora de negociação e também para todas as opções juntas independentes do horário em que foram negociadas.

	Variável Independente	Coefficiente de Regressão	Desvio-Padrão	Estatística-t	p-valor
dia inteiro	intercepto	0,365507	0,009959	36,702587	0,000000
	moneyness	-0,329132	0,114554	-2,873165	0,004469
	moneyness <sup>2</sup>	14,168172	1,728149	8,198464	0,000000
entre 11 e 12 horas	intercepto	0,380700	0,016389	23,229629	0,000000
	moneyness	0,140013	0,177197	0,790158	0,459516
	moneyness <sup>2</sup>	3,463076	2,514524	1,377229	0,217614
entre 12 e 13 horas	intercepto	0,357803	0,024304	14,721772	0,000000
	moneyness	-0,734038	0,238549	-3,077090	0,006204
	moneyness <sup>2</sup>	16,727222	3,532890	4,734714	0,000144
entre 13 e 14 horas	intercepto	0,388205	0,012701	30,565906	0,000000
	moneyness	-0,324902	0,161765	-2,008480	0,050009
	moneyness <sup>2</sup>	6,799170	2,791571	2,435607	0,018474
entre 14 e 15 horas	intercepto	0,334605	0,022499	14,872094	0,000000
	moneyness	-1,072518	0,271396	-3,951849	0,000227
	moneyness <sup>2</sup>	28,942171	4,009083	7,219149	0,000000
entre 15 e 16 horas	intercepto	0,401821	0,014942	26,891636	0,000000
	moneyness	0,280258	0,144652	1,937458	0,065633
	moneyness <sup>2</sup>	0,809969	2,138328	0,378786	0,708478
entre 16 e 17 horas	intercepto	0,365866	0,021367	17,122886	0,000000
	moneyness	0,515795	0,283369	1,820225	0,079828
	moneyness <sup>2</sup>	14,009059	3,900943	3,591199	0,001291
entre 17 e 18 horas	intercepto	0,388960	0,032152	12,097681	0,000000
	moneyness	-0,156709	0,354814	-0,441666	0,663469
	moneyness <sup>2</sup>	3,132787	6,077026	0,515513	0,611846

A primeira observação que é feita é que o coeficiente da variável independente quadrática é positivo em todos os períodos de 1 hora de negociação e que, portanto, o sorriso da volatilidade implícita persiste mesmo ao utilizar dados *intraday* e em todas as horas do dia. Das 11 às 12 horas, das 15 às 16 horas e das 17 às 18 horas, esse coeficiente não chega a ser significativo a um nível de 5% de significância. Já nos períodos das 12 às 15 horas e das 16 às 17 horas, esse coeficiente é significativamente positivo com um nível de 5% de significância.

Outro resultado importante de ser citado é que, apesar de o segundo coeficiente da regressão polinomial ter sido negativo quando utilizamos as opções que foram negociadas em qualquer horário do dia, ao examinar cada intervalo de 1 hora de negociação foi observado que o segundo coeficiente da regressão polinomial apresentava valores positivos e negativos dependendo da hora do dia em que a opção foi negociada.

A Tabela 6 abaixo apresenta os demais resultados apresentados pelo software E-views ao estimar as regressões polinomiais. Com esta tabela, percebe-se que os intervalos de 1 hora de negociação que não apresentaram o coeficiente da variável independente quadrática significativamente positivo foram os que tinham uma amostra pequena e que, portanto, poderia ter seus testes estatísticos prejudicados.

Tabela 6

Tabela contendo informações adicionais a respeito da estimação de modelos de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de moneyness da Tabela 5. São apresentados nesta tabela o  $R^2$  para os modelos de regressão de cada intervalo de 1 hora de negociação, assim como o número de observações na amostra disponível para cada modelo, a estatística-F que testa a hipótese de que todos os coeficientes da regressão são nulos e o p-valor dessa estatística.

	número de observações	$R^2$	Estatística-F	p-valor
dia inteiro	219	0,251042	36,200331	0,000000
entre 11 e 12 horas	9	0,259920	1,053616	0,405355
entre 12 e 13 horas	22	0,617308	15,324157	0,000109
entre 13 e 14 horas	53	0,150034	4,412927	0,017181
entre 14 e 15 horas	57	0,567948	35,492454	0,000000
entre 15 e 16 horas	25	0,148306	1,915437	0,171049
entre 16 e 17 horas	30	0,497354	13,357851	0,000093
entre 17 e 18 horas	23	0,018673	0,190283	0,828205

A Tabela 6 também apresenta o resultado do teste da hipótese de que todos os coeficientes da regressão polinomial estimada são nulos. Os resultados observados indicam que apenas para os horários em que o número de amostra foi pequeno é que a hipótese de que todos os coeficientes são nulos não pode ser rejeitada a um nível de significância de 5%. Nos demais períodos, essa hipótese deve ser rejeitada utilizando um nível de 5% de significância.

Após a constatação desses resultados a próxima tarefa foi procurar algum padrão de comportamento específico do sorriso da volatilidade implícita ao longo do dia. O único comportamento encontrado com a observação da Tabela 5 é que o sorriso da volatilidade implícita sempre ocorreu em qualquer horário do dia para as opções com vencimento em março de 2004. Todavia, conforme o dia passava, ora o sorriso se atenuou, ora se acentuou, mas não apresentou qualquer comportamento regular como o observado nas opções com vencimento em janeiro de 2004, cujo sorriso era mais acentuado no início do dia e ia sendo reduzido com o passar das horas de negociação.

#### 4.4 REGRESSÕES POLINOMIAIS UTILIZANDO A BASE DE DADOS ORIGINAL

Como já foi dito na seção Metodologia, caso fosse encontrada alguma mudança no sorriso da volatilidade implícita ao longo do dia, mais testes seriam avaliados. Padrões de comportamento foram facilmente percebidos na volatilidade implícita nas opções com vencimento em janeiro de 2004, mas não foram tão visíveis nas opções com vencimento em fevereiro e em março de 2004. Dessa forma, esta seção apresenta os resultados obtidos com a estimação de diversos modelos de regressão utilizando a base de dados original, ou seja, a que contém informações de todas as opções negociadas na Bovespa que passaram apenas pelos seguintes filtros:

- a) Opções negociadas na Bolsa de Valores após as ações preferenciais de Telemar terem sido negociadas por um preço constante durante 5 minutos;

- b) Opções negociadas 10 minutos depois da abertura do pregão e 10 minutos antes do encerramento deste;
- c) Opções que foram negociadas em, no mínimo, 10 negociações de contratos de opções.

A base de dados original foi utilizada em detrimento da base de dados tratada, pois a metodologia adotada na formação da base de dados tratada fez com que, em algumas horas do dia, o tamanho da amostra fosse bem pequeno. Os resultados encontrados com a base de dados original foram muito bons para obter as conclusões iniciais, mas foi necessário fazer alguns testes com a base maior para comprovar os resultados, pois poderia ter havido a possibilidade de que a metodologia adotada para a formação da base secundária tivesse comprometido alguns dos resultados. Poderia ser, por exemplo, que a escolha da opção que ficasse a mais próxima possível do meio do intervalo não fosse, necessariamente, uma boa representação de todas as opções que foram negociadas nesse intervalo de 1 hora.

A estimação de todos os modelos de regressão encontram-se nas Tabelas 7, 8 e 9 a seguir para as opções com vencimento em 19 de janeiro de 2004, 16 de fevereiro de 2004 e 15 de março de 2004, respectivamente.

Tabela 7

Tabela com os coeficientes de cada modelo de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de moneyness. Foram utilizadas as informações de todas as negociações de opções de compra de Telemar com vencimento em 19 de janeiro de 2004. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro.

Variável Independente	modelo 2		modelo 3		modelo 4		modelo 5	
	Coefficiente de Regressão	p-valor						
intercepto	0,3008	0,0000	0,3701	0,0000	0,4528	0,0000	0,5184	0,0000
moneyness	-0,4016	0,0000	-0,3949	0,0000	-0,3548	0,0002	-2,9698	0,0003
moneyness <sup>2</sup>	5,4642	0,0000	5,3982	0,0000	5,3723	0,0000	5,4011	0,0000
hora			-0,0048	0,0000	-0,0166	0,0062	-0,0258	0,0001
hora <sup>2</sup>					0,0004	0,0495	0,0007	0,0016
hora*moneyness					-0,0027	0,6787	0,3706	0,0014
hora <sup>2</sup> *moneyness							-0,0130	0,0013

Ao analisar a Tabela 7 acima, observa-se que, em todos os modelos estimados, o sorriso da volatilidade implícita apareceu. O coeficiente da variável independente *moneyness*<sup>2</sup> é positivo em todos os modelos e estatisticamente significativo a um nível de 5% de significância. Além disso, o coeficiente da variável independente *moneyness* é negativo e estatisticamente significativo também a um nível de 5% de significância. Tais resultados levam à comprovação estatística de que o sorriso da volatilidade implícita existe para as opções com vencimento em 19 de janeiro de 2004, mesmo quando se utiliza dados *intraday* ao invés de dados de fechamento.

Observando os valores dos coeficientes das variáveis independentes *hora* e *hora*<sup>2</sup>, tem-se que o coeficiente da variável *hora* foi sempre negativo em todas os modelos de regressão, enquanto que o coeficiente da variável *hora*<sup>2</sup> foi sempre positivo. Todos esses coeficientes apresentaram valores estatisticamente significativos a um nível de 5% de significância. Tais observações indicam que houve, ao longo do dia, uma tendência de a volatilidade implícita nos preços das opções de compra com vencimento em janeiro de 2004 caírem, principalmente nas primeiras horas de negociação da Bovespa.

Os valores obtidos para os coeficientes das variáveis independentes *hora\*moneyness* e *hora*<sup>2</sup>\**moneyness* são importantes para identificar se a queda que as volatilidades implícitas nas opções com vencimento em janeiro de 2004 foi mais intensa em opções dentro do dinheiro ou fora do dinheiro. No modelo 4 apresentado na Tabela 7, o coeficiente da variável independente *hora\*moneyness* foi negativo, mas não foi estatisticamente significativo a um nível de 5% de significância. Por outro lado, no modelo 5, o coeficiente da variável independente *hora\*moneyness* foi positivo, o da variável independente *hora*<sup>2</sup>\**moneyness* foi negativo e ambos foram estatisticamente significativos a um nível de 5% de significância. Tais resultados indicam que para as opções com vencimento em janeiro de 2004, a volatilidade implícita caía ao longo do dia mais para as opções dentro do dinheiro do que a

volatilidade implícita nas opções fora do dinheiro, sendo que perto do final do dia esse quadro se invertia um pouco, fazendo com que a volatilidade implícita das opções fora do dinheiro caíssem um pouco mais que as opções dentro do dinheiro. Se isso fosse apresentado em um gráfico, seria observado que o sorriso da volatilidade implícita tinha um movimento rotacional no sentido anti-horário ao longo do dia, mas que bem próximo do final do dia esse movimento chegava a voltar um pouco no sentido horário.

Os mesmos modelos de regressão foram estimados para as opções com vencimento em 16 de fevereiro de 2004 e resumidos na Tabela 8 abaixo.

Tabela 8

Tabela com os coeficientes de cada modelo de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de moneyness. Foram utilizadas as informações de todas as negociações de opções de compra de Telemar com vencimento em 16 de fevereiro de 2004. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro.

Variável Independente	modelo 2		modelo 3		modelo 4		modelo 5	
	Coefficiente de Regressão	p-valor						
intercepto	0,3251	0,0000	0,3390	0,0000	0,2580	0,0000	0,2119	0,0000
moneyness	0,4308	0,0000	0,4313	0,0000	0,8922	0,0000	2,0368	0,0022
moneyness <sup>2</sup>	-0,5242	0,0001	-0,5341	0,0000	-0,4671	0,0004	-0,4654	0,0004
hora			-0,0009	0,0052	0,0090	0,0849	0,0153	0,0160
hora <sup>2</sup>					-0,0003	0,0917	-0,0005	0,0174
hora*moneyness					-0,0314	0,0000	-0,1896	0,0375
hora <sup>2</sup> *moneyness							0,0054	0,0819

Ao analisar a Tabela 8 acima, observa-se que, em todos os modelos estimados, apareceu um fenômeno invertido do sorriso da volatilidade implícita. Em outras palavras, de acordo com estes modelos, as opções com vencimento em fevereiro de 2004 mais dentro do dinheiro não eram as mais relativamente valorizadas. O coeficiente da variável independente *moneyness*<sup>2</sup> é negativo em todos os modelos e estatisticamente significativo a um nível de 5% de significância. Além disso, o coeficiente da variável independente *moneyness* é positivo e estatisticamente significativo também a um nível de 5% de significância. Tais resultados levam à comprovação estatística de que não ocorreu o fenômeno do sorriso da volatilidade implícita nas opções com vencimento em fevereiro de 2004 quando foram utilizados dados

*intraday* para essa análise. Se algum fenômeno ocorreu, este foi o do sorriso invertido da volatilidade implícita.

Observando os valores dos coeficientes das variáveis independentes *hora* e *hora*<sup>2</sup>, tem-se que o coeficiente da variável *hora* foi negativo no modelo 3, mas positivo nos modelos 4 e 5, enquanto que o coeficiente da variável *hora*<sup>2</sup> foi sempre negativo. Todavia, os coeficientes das variáveis independentes *hora* e *hora*<sup>2</sup> foram estatisticamente significativos apenas nos modelos 3 e 5 a um nível de 5% de significância. Tais observações apontam que, de acordo com o modelo 3, havia uma queda na volatilidade implícita nas opções ao longo do dia. Todavia, de acordo com os modelos 4 e 5, as volatilidades implícitas tenderiam primeiro a aumentar para aí sim cair como aponta o modelo 3.

Quanto aos coeficientes das variáveis independentes *hora\*moneyiness* e *hora*<sup>2</sup>*\*moneyiness*, no modelo 4 apresentado na Tabela 8, o coeficiente da variável independente *hora\*moneyiness* foi negativo e significativo a um nível de 5% de significância. No modelo 5, o coeficiente da variável independente *hora\*moneyiness* também foi negativo e significativo a um nível de 5%, enquanto que o da variável independente *hora*<sup>2</sup>*\*moneyiness* foi positivo mas não estatisticamente significativos a um nível de 5%. Tais resultados apresentados na Tabela 8 apontam para a existência de um movimento de rotação no sorriso invertido da volatilidade implícita ao longo do dia. Dessa forma, apesar das volatilidades implícitas nas opções com vencimento em fevereiro não terem apresentado comportamentos semelhantes ao das volatilidades implícitas nas opções com vencimento em janeiro, em ambas o sorriso da volatilidade ou o sorriso invertido da volatilidade tendeu a se atenuar com o passar das horas de negociação.

A Tabela 9 abaixo apresenta os resultados das regressões para as opções com vencimento em 15 de março de 2004.

Tabela 9

Tabela com os coeficientes de cada modelo de regressão para as volatilidades implícitas em opções de compra da Telemar em função do índice de *moneyness*. Foram utilizadas as informações de todas as negociações de opções de compra de Telemar com vencimento em 15 de março de 2004. A taxa de juros livre de risco é a obtida em contratos futuros de Depósito Interbancário negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuro.

Variável Independente	modelo 2		modelo 3		modelo 4		modelo 5	
	Coefficiente de Regressão	p-valor						
intercepto	0,3776	0,0000	0,3829	0,0000	0,0538	0,2987	0,0555	0,3136
<i>moneyness</i>	-0,1662	0,0000	-0,1644	0,0000	-1,1826	0,0000	-1,2951	0,3009
<i>moneyness</i> <sup>2</sup>	9,4842	0,0000	9,4872	0,0000	9,2438	0,0000	9,2408	0,0000
hora			-0,0004	0,3638	0,0466	0,0000	0,0463	0,0000
hora <sup>2</sup>					-0,0017	0,0000	-0,0016	0,0000
hora* <i>moneyness</i>					0,0707	0,0000	0,0863	0,6182
hora <sup>2</sup> * <i>moneyness</i>							-0,0005	0,9279

Ao analisar a Tabela 9 acima, observa-se que, em todos os modelos estimados, o sorriso da volatilidade implícita apareceu. O coeficiente da variável independente *moneyness*<sup>2</sup> foi positivo em todos os modelos e estatisticamente significativo a um nível de 5% de significância. Além disso, o coeficiente da variável independente *moneyness* foi negativo e estatisticamente significativo também a um nível de 5% de significância, com exceção do modelo 5. Tais resultados levam à indicação estatística de que o sorriso da volatilidade implícita existiu para as opções com vencimento em 15 de março de 2004, mesmo quando foram utilizados dados *intraday* no lugar de dados de fechamento.

Observando os valores dos coeficientes das variáveis independentes *hora* e *hora*<sup>2</sup>, tem-se que o coeficiente da variável *hora* foi sempre positivo em todas os modelos de regressão e significativos a um nível de 5%, com exceção do modelo 3 onde o coeficiente foi negativo, mas não foi estatisticamente significativo. Já o coeficiente da variável *hora*<sup>2</sup> foi sempre positivo e estatisticamente significativo a um nível de 5% de significância.. Tais observações apresentadas pelos modelos 4 e 5 indicam que havia, ao longo do dia, uma tendência de a volatilidade implícita nos preços das opções de compra com vencimento em março de 2004 subir nas primeiras horas de negociação do dia para depois cair.

Com relação aos valores obtidos para os coeficientes das variáveis independentes  $hora*moneyness$  e  $hora^2*moneyness$ , no modelo 4 apresentado na Tabela 9, o coeficiente da variável independente  $hora*moneyness$  foi positivo e estatisticamente significativo a um nível de 5% de significância. Por outro lado, no modelo 5, o coeficiente da variável independente  $hora*moneyness$  foi positivo, o da variável independente  $hora^2*moneyness$  foi negativo, mas ambos não foram estatisticamente significativos a um nível de 5% de significância. Considerando apenas o modelo 4, que apresentou resultados estatisticamente significativos, há indicações de que para as opções com vencimento em março de 2004, a volatilidade implícita caía ao longo do dia mais para as opções dentro do dinheiro do que a volatilidade implícita nas opções fora do dinheiro. A representação desse fenômeno em um gráfico seria como a de um movimento rotacional no sorriso da volatilidade implícita no sentido anti-horário ao longo do dia, reduzindo sua inclinação.

Após analisar todos os resultados encontrados para as opções com as três datas de vencimento, pode-se resumir neste parágrafo todas as conclusões obtidas. Em primeiro lugar, ao utilizar informações de negociações *intraday* o fenômeno do sorriso da volatilidade implícita foi observado nas opções de compra das três datas de vencimento quando selecionamos apenas 1 opção de cada vencimento para cada intervalo de 1 hora. Em segundo lugar, o sorriso da volatilidade implícita persistiu mesmo ao serem considerados os *spreads* entre as ordens de compra e de venda das opções de compra. Em terceiro lugar, ao serem utilizadas todas as opções que foram negociadas e que passaram apenas pelo primeiro tratamento na base de dados – base de dados original – o sorriso de volatilidade implícita surgiu apenas nas opções de compra com data de vencimento em janeiro e em março de 2004, surgindo um efeito de sorriso invertido nas opções com data de vencimento em fevereiro de 2004.

Ao analisar o comportamento do sorriso de volatilidade implícita nas opções com vencimento em janeiro de 2004, foi observado que as volatilidades implícitas em todas as opções caíram ao longo do dia. Ao mesmo tempo, a curva do sorriso de volatilidade implícita apresentou um movimento de rotação no sentido anti-horário, fazendo com que as opções dentro do dinheiro tivessem sua volatilidade implícita mais reduzida do que a das opções fora do dinheiro. Entretanto, mais próximo do final do dia, essa rotação se deu no sentido horário, mas apenas por pouco tempo.

Analisando o comportamento do sorriso de volatilidade implícita nas opções com vencimento em fevereiro de 2004, foi observado que as volatilidades implícitas em todas as opções primeiramente subiram, mas depois caíram até o final do dia. Ao mesmo tempo, a curva do sorriso invertido de volatilidade implícita apresentou um movimento de rotação no sentido horário, fazendo com que as opções fora do dinheiro tivessem sua volatilidade implícita mais reduzida do que a das opções dentro do dinheiro.

Por fim, ao se analisar o comportamento do sorriso de volatilidade implícita nas opções com vencimento em março de 2004, foi observado que a volatilidade implícita em todas as opções subiram em um primeiro momento para depois cair até a última hora de negociação do dia. Ao mesmo tempo, a curva do sorriso de volatilidade implícita apresentou um movimento de rotação no sentido anti-horário como ocorreu com as opções com vencimento em janeiro de 2004. Isso fez com que as opções dentro do dinheiro tivessem sua volatilidade implícita mais reduzida do que a das opções fora do dinheiro. Entretanto, foi observado que esse movimento de rotação foi mais rápido nas primeiras horas de negociação e foi sendo desacelerado até o final do dia.

## 4.5 VERIFICANDO OS RESULTADOS ENCONTRADOS

Como foi identificado que as volatilidades implícitas nas opções de compra com vencimento em janeiro de 2004 apresentaram o fenômeno de sorriso e que esse sorriso tendeu a ter um movimento de rotação no sentido anti-horário e um movimento de translação para baixo, uma estratégia baseada na compra e venda dessas opções com o objetivo de ganhar dinheiro foi testada. Se o sorriso tendeu a mover-se para baixo, isso significa que as opções puderam ter sofrido uma redução em seus preços de mercado ao longo do dia. Somado a isso, o movimento de rotação no sentido anti-horário pôde ter feito com que as opções dentro do dinheiro tivessem seu valor de mercado mais reduzido do que as opções fora do dinheiro ao longo do dia. Baseado nisso, uma estratégia que permitiria obter lucros na média das operações seria vender a descoberto opções dentro do dinheiro nas primeiras horas de negociação para comprar as mesmas opções e encerrar a posição vendida nas últimas horas do pregão. Vendendo a descoberto opções no início do dia quando elas estavam sobrevalorizadas e comprando-as no final do dia quando elas estavam desvalorizadas é uma estratégia que deveria angariar lucros baseado nas conclusões extraídas das opções com vencimento em janeiro de 2004.

Essa estratégia deveria ser imune a variações no preço do ativo-objeto. Qualquer mudança na ação da Telemar automaticamente corrigiria as volatilidades implícitas devido à própria metodologia – intervalo de no mínimo 5 minutos de preços constantes para o ativo-objeto das opções – empregada neste trabalho. Todavia, há duas variáveis no modelo de Black&Scholes que poderiam prejudicar os lucros. A primeira delas era a taxa de juros, pois a utilizada neste trabalho foi uma taxa de juros constante ao longo do dia, o que poderia não ser verdadeiro. Isso poderia implicar na identificação de tendências nas volatilidades implícitas

que na verdade seriam tendências do comportamento das taxas de juros ao longo do dia. A segunda delas era o tempo até o vencimento, pois neste trabalho foi considerado que o tempo era discreto e mudava em passos de 1 dia. Todavia, poderia ser que o mercado não considerava que o tempo era discreto, mas sim contínuo. Se isto fosse verdadeiro, usar uma variável discreta para o tempo também induziria a conclusões de que as volatilidades implícitas apresentariam certas tendências ao longo do dia.

Tabela 10

Tabela com os resultados obtidos com estratégia de operações day-trade vendendo a descoberto opções de compra in-the-money no início do dia e comprando as mesmas opção ao final do dia para encerrar as posições. Foram consideradas apenas as opções de compra com preços de exercício R\$40,00, R\$42,00, R\$44,00 e R\$46,00 e com data de vencimento em 19 de janeiro de 2004 Na coluna do meio, os resultados obtidos não consideram a existência de spreads entre a melhor oferta de compra e a melhor oferta de venda. Na coluna da direita, os resultados obtidos levam em consideração a existência de spread entre a melhor oferta de compra a melhor oferta de venda.

Variável Independente	sem as taxas de spread	com as taxas de spread
Coefficiente de Regressão	0,011333	-0,029833
Desvio-Padrão	0,023049	0,022877
Estatística-t	0,491700	-1,304070
p-valor	0,624756	0,197274

A Tabela 10 acima apresenta a média dos resultados obtidos com a estratégia, não considerando *spread* na coluna do meio e considerando as taxas de *spread* estimadas para este mercado na coluna da direita. Como pode ser observado, sem considerar as taxas de *spread*, essa estratégia permitiria obter resultados positivos. Todavia, as variações nesses resultados são tão grandes que a hipótese de que a média era igual a zero não pode ser rejeitada a um nível de significância de 5%.

Quando se passou a considerar as taxas de *spread*, os resultados obtidos com a estratégia passaram a ser negativos na média. A hipótese de que essa média era igual a zero não foi rejeitada a um nível de significância de 5%. Dessa forma, enquanto que sem *spread* não houve indicações estatísticas de que a estratégia permitiria obter lucros, ao se considerar

as taxas de *spread*, houve indicações estatísticas de que os resultados seriam de prejuízos na média. Estas indicações estatísticas de que a estratégia causaria prejuízos não foram muito fortes – a hipótese nula foi rejeitada a um nível de significância de 5% – mas não houve qualquer indicação de que ela daria lucros.

A Tabela 11 tem como objetivo analisar a mudança na volatilidade implícita nas opções do final do dia para o início do dia seguinte de negociação. Os resultados apresentados são as regressões polinomiais para as volatilidades implícitas nas opções que foram negociadas apenas nos intervalos de 17 às 18 horas e de 11 às 12 horas.

Tabela 11

Tabela com regressões polinomiais para as volatilidades implícitas nos preços das opções de compra de Telemar com vencimento em 19 de janeiro e 16 de fevereiro de 2004. Foram utilizadas apenas opções que foram negociadas no intervalo entre 17 e 18 horas e entre 11 e 12 horas. O primeiro dia de negociação considerado na análise foi o que apresentou negociação entre 17 e 18 horas no dia D e negociação entre 11 e 12 horas no dia D+1. O último dia de negociação considerado na análise foi o que apresentou negociação entre 11 e 12 horas no dia D e negociação entre 17 e 18 horas no dia D-1.

		Variável Independente	Coefficiente de Regressão	Desvio-Padrão	Estatística-t	p-valor
19 de janeiro de 2004	entre 11 e 12 horas	intercepto	0,32835	0,01843	17,81286	0,00000
		moneyness	-0,79994	0,16697	-4,79101	0,00001
		moneyness <sup>2</sup>	4,99051	1,26268	3,95233	0,00022
	entre 17 e 18 horas	intercepto	0,31258	0,01054	29,66803	0,00000
		moneyness	-0,40368	0,08922	-4,52446	0,00002
		moneyness <sup>2</sup>	2,40822	0,84282	2,85734	0,00566
16 de fevereiro de 2004	entre 11 e 12 horas	intercepto	0,31860	0,01121	28,40961	0,00000
		moneyness	0,29623	0,13096	2,26199	0,03346
		moneyness <sup>2</sup>	-1,36031	1,24715	-1,09073	0,28669
	entre 17 e 18 horas	intercepto	0,27224	0,01449	18,78721	0,00000
		moneyness	-0,55406	0,12443	-4,45260	0,00013
		moneyness <sup>2</sup>	7,85455	1,05405	7,45179	0,00000

O que pode ser percebido por essa Tabela 11 é que, para as opções com vencimento em janeiro de 2004, o sorriso da volatilidade implícita tinha a tendência de rotacionar no sentido horário e a apresentar um movimento de translação para cima. Esse fato foi baseado nos coeficientes estatisticamente significativos a um nível de 5% de significância, aumento no coeficiente da variável independente quadrática *moneyness*<sup>2</sup> e no decréscimo da variável

independente *moneyness* das opções negociadas no intervalo das 17 às 18 horas do dia para o intervalo das 11 às 12 horas do dia seguinte. Isso indica que o padrão de comportamento apontado neste trabalho – rotação no sentido anti-horário e movimento de translação para baixo do sorriso da volatilidade implícita – foi um comportamento exclusivamente *intraday* e não uma continuação de um comportamento entre dias. Assim, o sorriso de volatilidade implícita nas opções com vencimento em janeiro de 2004 tendeu, ao longo do dia, a fazer um movimento de rotação no sentido anti-horário e um movimento de translação para baixo e do final do dia para o dia seguinte um movimento de rotação no sentido horário e um movimento de translação para cima para que voltasse a apresentar seu comportamento *intraday* novamente.

Todavia, quando são analisados os resultados da Tabela 11 para as opções com vencimento em fevereiro de 2004, os resultados devem ser observados com crítica, pois, apesar do coeficiente de regressão da variável independente *moneyness* ter sido significativo a um grau de 5% para as opções negociadas no intervalo das 11 às 12 horas, o coeficiente de regressão da variável independente *moneyness*<sup>2</sup> não foi significativo a um grau de significância de 5%. Já os coeficientes de regressão para as opções que foram negociadas no intervalo das 17 às 18 horas foram todos significativos a um grau de 5% de significância. Os resultados analisados para as opções com vencimento em fevereiro de 2004 não foram claros o suficiente para indicar se as volatilidades implícitas nas opções negociadas no intervalo das 17 às 18 horas de um dia foram menores que as volatilidades implícitas nas opções negociadas no intervalo das 11 às 12 horas do dia seguinte para as opções com data de vencimento em 16 de fevereiro de 2004.

## 5 CONCLUSÃO

Não foi encontrado nenhum artigo acadêmico que discutisse o comportamento do sorriso de volatilidade implícita ao longo do dia. Dessa forma, não há como as constatações empíricas deste trabalho quanto ao comportamento do sorriso da volatilidade implícita nas opções com data de vencimento em janeiro, fevereiro e março de 2004 serem comparadas ou explicadas diretamente por algum artigo já desenvolvido anteriormente. No entanto, segundo Chimisso (2003) ao se observar o comportamento das volatilidades implícitas ao longo do dia, elas “tendem a ser maiores na abertura do pregão e declinantes durante o pregão”. Este autor atribui a este evento o fato de que a abertura do pregão é acompanhada por grande inquietação por parte do mercado e que, portanto, torna-se “mais povoado de operadores buscando cobertura para o risco” (CHIMISSO, 2003). Tal constatação seria uma boa explicação para a ocorrência dos movimentos de translação descritos no capítulo 4 no sorriso da volatilidade implícita das opções de compra com data de vencimento em 19 de janeiro, 16 de fevereiro e 15 de março de 2004.

Este autor não menciona nada sobre o fato das opções de compra in-the-money apresentarem volatilidades implícitas mais declinantes ao longo do dia quando comparadas com as opções de compra out-of-the-money – e que explicaria os movimentos de rotação observados na seção de resultados. Todavia, Ederington e Guan (2002) suspeitam que o sorriso de volatilidade ocorra devido a pressões de *hedging*. Eles acreditam que há investidores que compram opções de venda out-of-the-money para fazer *hedge* contra quedas nos valores das ações no mercado. Tais atitudes fariam com que os preços dessas opções de venda fossem sobre-valorizadas e, portanto, sua volatilidade implícita ficaria alta. Em um

ambiente de mercados eficientes, uma sobrevalorização como essa não passaria despercebida pelo mercado, pois permite ganhos de arbitragem através do put-call-parity.<sup>9</sup> A movimentação de arbitradores no mercado faria com que o preço – e, conseqüentemente, a volatilidade implícita – das opções de compra in-the-money se elevasse (EDERINGTON e GUAN, 2002). Não há negociações de opções de venda no mercado brasileiro – ou pelo menos elas não são muito líquidas. Todavia uma estratégia de *hedge* alternativa contra quedas no valor das ações seria a formação de *puts* sintéticas, o que provocaria em última instância um aumento nos preços das opções de compra in-the-money.<sup>10</sup> Assim, os comportamentos de rotação no sorriso da volatilidade implícita poderiam ser explicados pelo menos para as opções com vencimento em janeiro e março de 2004, ficando as opções com vencimento em fevereiro ainda sem uma resposta aparente para o movimento de rotação na sua curva de volatilidade implícita.

Para quem opera no mercado de opções, fica a sugestão de tentar aproveitar os resultados e conclusões apresentados neste trabalho para angariar lucros com estratégias de *day-trade*. De acordo com os resultados apresentados pela Tabela 10, uma estratégia que, provavelmente, aumentaria os ganhos de alguém seria postergar as compras de opções de compra in-the-money para horários mais próximos do fechamento caso alguém já fosse comprá-las. Se a decisão de comprar tais opções de compra in-the-money no início do dia já estiver tomada, adiar essa decisão para horários mais próximos do fim do dia seria o mesmo que vender a descoberto a opção de compra in-the-money no início do dia e comprá-la de volta no final do dia, tendo ainda a vantagem de não ser punido pelas taxas de *spread* existentes no mercado. Essa estratégia, como já demonstrada pela Tabela 10, apresentaria em

---

<sup>9</sup> O ganho de arbitragem poderia ser obtido através da venda da opção de venda sobre-valorizada, junto com a venda do ativo-objeto e a compra de uma opção de compra. Os dois tipos de opções devem ter mesmo preço de exercício e mesma data de vencimento para se caracterizar uma operação sem risco e com ganhos positivos.

<sup>10</sup> Puts sintéticas podem ser formadas através da compra de uma opção de compra e da venda do ativo-objeto. O resultado é um portfólio que ganha quando o valor do ativo-objeto cai, mas tem um limite para as perdas quando o ativo-objeto sobe, assim como uma verdadeira opção de venda.

média ganhos positivos. Uma outra forma de aplicar essa estratégia é restrita a corretoras, bancos ou outros agentes que operam no mercado de opções no lugar de terceiros. Estes operadores, ao receberem uma ordem de um de seus clientes para comprar uma opção de compra in-the-money no início do dia, teriam uma oportunidade para ganhar dinheiro, na média, ao adiar a operação de compra de seus clientes e se exporem ao risco de cobrir as variações de preços nesse ativo enquanto a operação não for executada. Novamente, esta estratégia se assemelha à operação de vender a descoberto no início do dia e encerrar a posição no final do dia, sem ser punido pelas taxas de *spread* existentes no mercado.

Este trabalho termina sugerindo para eventuais trabalhos futuros um estudo com dados mais recentes de negociações de opções e uma análise das outras variáveis que podem ser determinantes na estimação da volatilidade implícita e que ainda não receberam a devida atenção de pesquisadores. Todos as metodologias e resultados aqui observados poderiam ser replicados para uma base de dados ainda maior, contendo informações de opções com mais datas de vencimento e que foram negociadas até mais recentemente. Tal pesquisa seria muito útil para que seus resultados pudessem ser comparados com os obtidos neste trabalho. Fica também a sugestão para um novo trabalho sobre sorriso da volatilidade implícita com dados de alta frequência, mas focando nas implicações que outras variáveis, ainda não estudadas, têm na volatilidade implícita nas opções como a liquidez das opções negociadas, a cotação do ativo-objeto, as taxas de *spread* do mercado e as taxas de juros livres de risco. Uma última sugestão de pesquisa seria procurar na teoria das Finanças Comportamentais uma razão para o fenômeno do sorriso da volatilidade ocorrer e procurar um motivo para este fenômeno ser mais acentuado no início do dia. Talvez a resposta para a existência desse fenômeno seja um motivo não-racional e que, portanto, só poderia ser explicado por modelos baseados nas teorias de Finanças Comportamentais. Enfim, apesar de aparentemente não haver teoria financeira que explique o fato de o sorriso da volatilidade existir e este ser ainda mais

acentuado no início do dia como foi observado no mercado brasileiro, a explicação que parece ser a mais plausível é a de que os operadores de mercado são de tal forma adversos ao risco que o mercado acaba oferecendo um prêmio para quem vende as opções menos líquidas – opções in-the-money e out-of-the-money – superior a um possível prêmio para quem vende as opções mais líquidas – opções at-the-money – e que esse prêmio é ainda maior para as opções de compra in-the-money. E devido ao fato de que as primeiras horas do dia são acompanhadas de maior inquietação por parte do mercado, essa inquietação deve aumentar ainda mais a aversão a risco dos operadores nessas primeiras horas de negociação, fazendo com que o sorriso da volatilidade implícita seja ainda mais acentuado no início do dia.

## REFERÊNCIAS

ACKER, Daniella. **Implied Standard Deviations and Post-earnings Announcement Volatility**. Journal of Business Finance & Accounting, vol. 29, n. 3 e 4, Abr/Mai 2002, p. 429-456.

ALENTORN, Amadeo. **Modelling the Implied Volatility Surface: An Empirical Study for FTSE Options**. Computational Finance Project, spring 2004, p. 1-24.

AMIHUD, Y.; MENDELSON, H. **Dealership Market: Marketmaking with Inventory**. Journal of Financial Economics, 1980, p. 31-53.

AMIHUD, Y.; MENDELSON, H. **Asset Price Behavior in a Dealership Market**. Financial Analyst Journal, 1982, p. 50-59.

AMIN, K. L. **Jump Diffusion Option Valuation in Discrete Time**. Journal of Finance, vol. 48, 1993, p. 1833-1863.

AMIN, K. L.; NG, V. **Option Valuation with Systematic Stochastic Volatility**. Journal of Finance, vol. 48, 1993, p. 881-910.

BAGEHOT, W. **The Only Game in Town**. Financial Analysts Journal, Mar-Apr 1971, p. 12-14.

BALL, C.; TOROUS, W. **On Jumps in Common Stock Prices and Their Impact on Call Option Pricing**. Journal of Finance, vol. 40, 1985, p. 155-173.

BARBEDO, Claudio Henrique da S.; LEMGRUBER, Eduardo Facó. **Are Bid-Ask Prices Determinants of the Brazilian Options Implicit Volatility?**. Working paper, 2005, p. 1-18.

BATES, D. S. **Jumps and Stochastic Volatility: Exchange Rate Processes Implicit in Deutschemark Options**. Review of Financial Studies, vol. 9, 1996, p. 69-108.

BLACK, Fischer; SCHOLES, Myron S. **The Pricing of Options and Corporate Liabilities**. Journal of Political Economy, vol. 81, 1973, p. 637-659.

BOLLEN, Nicolas P. B.; WHALEY, Robert E. **Does Net Buying Pressure Affect the Shape of Implied Volatility Functions?** The Journal of Finance, vol. 59, n. 2, abril 2004, p. 711-753.

CANINA, L.; FIGLEWSKI, S. **The Informational Content of Implied Volatility.** Review of Financial Studies, vol. 6, 1993, p. 659-681.

CHIMISSO, Sandro Huttner. **Características de Negociação de Opções no Mercado Financeiro.** 2003.

CONT, R.; FONSECA, J. D. **Dynamics of Implied Volatility Surfaces.** Quantitative Finance 2, fev 2002, p. 45-60.

COPELAND, T.; GALAI, D. **Information Effects on the Bid-Ask Spread.** Journal of Finance, dec 1983, p. 1457-1469.

DAY, T.; LEWIS, C. **The Behavior of the Volatility Implicit in Option Prices.** Journal of Financial Economics, vol. 22, 1988, p. 103-122.

DAY, T.; LEWIS, C. **Stock Market Volatility and the Information Content of Stock Index Options.** Journal of Econometrics, vol. 52, 1992, p. 267-287.

DEMSETZ, H. **The Cost of Transacting.** Quarterly Journal of Economics, fev 1968, p. 33-53.

DERMAN, E.; KANI, L. **Riding On a Smile.** Risk, vol. 7, 1994, p. 32-39.

DUMAS, Bernard; FLEMING, Jeff; WHALEY, Robert E. **Implied Volatility Functions: Empirical Tests.** The Journal of Finance, vol. 53, n. 6, December 1998, p. 2059-2106.

ENDERINGTON, Louis; GUAN, Wei. **Why Are Those Options Smiling?** The Journal of Derivatives, Vol. 10, n.2, Winter 2002, p. 9-34.

HARVEY, C. R.; WHALEY, R. **Market Volatility Prediction and the Efficiency of the S&P 100 Index Option Market.** Journal of Financial Economics, vol. 31, 1992, p. 43-73.

HESTON, S. L. **A Closed-Form Solution for Options with Stochastic Volatility with Applications to Bond and Currency Options.** Review of Financial Studies, vol. 6, 1993, p. 327-343.

HO, S. Y.; STOLL, H. R. **Optimal Dealer Markets Under Transaction and Return Uncertainty**. Journal of Financial Economics, vol. 9, 1981, p. 47-73.

HULL, John C. **Opções, Futuros e Outros Derivativos**. São Paulo: Bolsa de Mercadorias & Futuros, 1998.

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

JACKWERTH, J. **Generalized Binomial Trees**. The Journal of Derivatives, vol. 5, 1997, p. 7-17.

JARROW, R.; ROSENFELD, E. **Jump Risks and the Intertemporal Capital Asset Pricing Model**. Journal of Business, vol. 57, 1984, p. 337-351.

JORION, P. **Predicting Volatility in the Foreign Exchange Market**. Journal of Finance, vol. 50, 1995, p. 507-528.

LAMOUREUX, C. G.; LASTRAPES, W. **Forecasting Stock Return Variance: Towards Understanding Stochastic Implied Volatility**. Review of Financial Studies, vol. 6, 1993, p. 293-326.

LATANE, H.; RENDLEMAN, R. **Standard Deviation of Stock Price Ratios Implied in Option Prices**. Journal of Finance, vol. 31, 1976, p. 369-381.

LIU, Jun; LONGSTAFF, Francis A. **Losing Money on Arbitrages: Optimal Dynamic Portfolio Choice in Markets with Arbitrage Opportunities**. Working paper, UCLA, 2000.

MELO, Eduardo F. L. de; BARBEDO, Cláudio H. S. **A Study About The Effect of The Prospect Theory in The Volatility Smile**. Working Paper, COPPEAD / UFRJ, 2005, p. 1-21.

MERTON, R. **Option Pricing When Underlying Stocj Distribution Are Discontinuous**. Journal of Financial Economics, vol. 3, 1976, p. 125-144.

POTERBA, J.; SUMMERS, L. **The Persistence of Volatility and Stock Market Fluctuations**. American Economic Review, vol. 76, 1986, p. 1142-1151.

RUBINSTEIN, M. **Implied Binomial Trees**. Journal of Finance, vol. 49, 1994, p. 771-818.

\_\_\_\_\_. **Nonparametric Tests of Alternative Option Pricing Models Using All Reported Trades and Quotes on the 30 Most Active CBOE Option Classes from August 23, 1976 Through August 31, 1978.** Journal of Finance, vol. 40, 1985, p. 455-480.

SHLEIFER, Andrei; VISHNY, Robert. **The Limits of Arbitrage**. Journal of Finance, vol. 52, 1997, p. 35-55.

SHEIKH, A. **Stock Splits, Volatility Increases and Implied Volatility**. Journal of Finance, vol. 44, 1989, p. 1361-1372.

STOLL, H. R. **The Supply of Dealer Services in Securities Markets**. Journal of Finance, sep 1978, p. 1133-1151.

TINIC, S. **The Economics of Liquidity Services**. Quarterly Journal of Economics, 1972, p. 79-93.

TOMPKINS, R. **Stock Index Futures Markets: Stochastic Volatility Models and Smiles**. The Journal of Futures Markets, vol. 21, n. 1, 2001, p. 43-78.

WANG, George H. K.; MICHALSKI, Raphael J.; JORDAN, James V.; MORIARTY Eugene J. **An Intraday Analysis of Bid-Ask Spreads and Price Volatility in the S&P 500 Index Futures Market**. The Journal of Futures Markets, vol. 14, n. 7, oct 1994, p. 837-859.

WIGGINS, J. B. **Option Values Under Stochastic Volatility: Theory and Empirical Estimates**. Journal of Financial Economics, vol. 19, 1987, p. 351-372.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)