

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

**DESVALORIZAÇÃO CAMBIAL DE 1999: UMA ABORDAGEM
SOBRE A VOLATILIDADE**

Gustavo Teixeira de Souza Marques
N^o de matrícula: 9514952

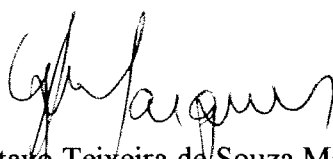
Orientador: Nilson Teixeira

Novembro de 1999

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

**DESVALORIZAÇÃO CAMBIAL DE 1999: UMA ABORDAGEM
SOBRE A VOLATILIDADE**



Gustavo Teixeira de Souza Marques
Nº de matrícula: 9514952

Orientador: Nilson Teixeira

Novembro de 1999

“As opiniões expressas neste trabalho são de responsabilidade única e exclusiva do autor”

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu professor orientador, Nilson Teixeira. Sou muito grato por ele tentar extrair de forma marcante, o máximo dentro das limitações deste trabalho. Conseguindo assim, me incentivar cada vez mais a desenvolver este tema. Meus agradecimentos também a meus amigos e colegas de trabalho da Fleming Graphus CCVM, em especial a Augusto Pina, de quem recebi valiosas explicações.

Gostaria de agradecer, realmente de uma forma única, à minha família. Minha mãe, minha irmã e à minha namorada Mariana que estiveram comigo acima de tudo, sempre.

ÍNDICE

Capítulo I – Introdução	8
Capítulo II – Volatilidade	13
II.1) Definições básicas	13
II.2) Tipos e características	18
II.3) Estimação de volatilidade	19
II.3.1) Estimador não viesado de mínima variância uniforme	20
II.3.2) Estimador de média móvel exponencialmente ponderada	20
II.3.3) Modelos GARCH	22
II.4) Comparação entre os métodos	25
Capítulo III – Opções e o modelo de Black&Scholes	27
III.1) Opções e suas características	28
III.2) O modelo Black&Scholes	29
III.2.1) Premissas básicas	30
III.2.2) A fórmula de Black&Scholes	31
III.2.3) Volatilidade implícita	32
III.2.4) Sensitividade – as letras gregas	34

Capítulo IV – Evidência empírica	44
IV.1)O período estudado.....	44
IV.2)A volatilidade no período	48
IV.2.1)A volatilidade estimada	49
IV.2.2)A volatilidade no modelo de Black&Scholes	57
 Capítulo V – Conclusão	 64
 Bibliografia	 68
 Gráficos	 69

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Estimativas de volatilidade para RCTB41

Gráfico 2 – SMILE de volatilidade I

Gráfico 3 – Delta

Gráfico 4 – Gamma

Gráfico 5 – Theta

Gráfico 6 – Vegga

Gráfico 7 – Rho

Gráfico 8 – Janelas de estimação

Gráfico 9 e 10 – Estimativas de volatilidade para DI1 e Dólar

Gráfico 11 – Estimativas de volatilidade para Índice

Gráfico 12 – Estimativas de volatilidade para RCTB41 – cópia

Gráfico 13 – SMILE de volatilidade II

Gráfico 14 – SMILE de volatilidade III

Gráfico 15 – SMILE de volatilidade IV

Gráfico 16 – SMILE de volatilidade V

Gráfico 17 – SMILE de volatilidade VI

Gráfico 18 – Período Estável

Gráfico 19 – Crise Russa

Gráfico 20 - Desvalorização

Gráfico 21 – Delta na desvalorização

Gráfico 22 – Gamma na desvalorização

Gráfico 23 – Theta na desvalorização

Gráfico 24 – Vega na desvalorização

Gráfico 25 – Rho na desvalorização

Gráfico 26 – Comparação entre os prêmios – período estável

Gráfico 27 – Comparação entre os prêmios - desvalorização

Gráfico 28 – SMILE de volatilidade (crise da Rússia)

CAPÍTULO I – Introdução

Este trabalho tem como principal objetivo detalhar como a inesperada desvalorização de janeiro de 1999 afetou a expectativa dos agentes do mercado financeiro. Este detalhamento será feito através do acompanhamento da volatilidade e dos preços de alguns dos principais ativos do mercado à vista, do mercado de opções e do mercado futuro, antes e depois da medida.

Atualmente com a globalização dos mercados e a sofisticação cada vez maior dos instrumentos disponíveis, faz-se necessário o conhecimento desses conceitos que nos dão uma idéia do risco embutido em determinados mercados, assim como determinam preços de derivativos, principalmente opções. Estimar corretamente, principalmente a volatilidade, e ter um bom entendimento de seu significado, é de vital importância na gestão de risco, apreçamento de opções e desenvolvimento de novos produtos ¹.

¹ Hoje, no mercado financeiro brasileiro, a maior parte das negociações de opções de ativos menos líquidos se dá pela negociação do valor da volatilidade, ou seja, o preço do ativo que consegue relatar a volatilidade mais próxima do que é esperada pelo agente. Assim muitas vezes o agente não pede o preço do ativo e sim a volatilidade que o mercado assumiu para este ativo. Outro ponto muito comum no mercado de derivativos é a “compra e venda de volatilidade”, que consiste em comprar (ou vender) a opção e vender a descoberto (ou comprar) o ativo subjacente, segundo o coeficiente Δ (delta), que será melhor avaliado no decorrer deste estudo.

Nos mercados emergentes este conceito é um dos mais importantes, visto que estes países apresentam quadros políticos e econômicos instáveis. A dependência de capital externo para gerar investimentos e muitas vezes cobrir déficits internos tornou-se uma prática comum entre esses países. Conseqüentemente, qualquer clima de incerteza gerado internamente é seguido por uma fuga de capitais que contamina todos os demais países nessas condições. Desta forma, não se torna simples ter uma estimativa de preços, assim como uma série de retornos de ativos, livre de variações bruscas em longos intervalos de tempo.

A análise desta monografia, portanto, estará focada em um período repleto de movimentos nos preços e retornos dos ativos. A partir da variação destes retornos será efetuado uma análise sobre a volatilidade no mercado à vista e futuro através de estimativas de volatilidade de diferentes métodos para identificação dos períodos de crise. O uso do modelo de *Black&Scholes* permitirá calcular a volatilidade implícita das opções do período, assim como permitir uma análise dos parâmetros do modelo e a relação entre a volatilidade e seus preços de exercício. Desta forma será possível estabelecer uma análise entre a volatilidade histórica e implícita.

Com isso espera-se mostrar a importância do cálculo e da estimativa correta de volatilidade. Se faz necessário colocar que uma estimativa correta de volatilidade pode levar o agente a aproveitar vantagens no mercado, fruto de um melhor apreçamento da opção, visto que o modelo de *Black&Scholes* necessita de uma volatilidade histórica do ativo objeto para calcular o preço da opção.

A parte teórica deste trabalho será assim organizada: o próximo capítulo, envolverá basicamente as definições, características e estimação de volatilidade e o capítulo III consistirá nas definições e apreçamento das opções, apresentando o modelo de *Black&Scholes* e seus parâmetros.

No capítulo II, define-se o conceito deste que será o mais importante elemento do trabalho, a volatilidade. Serão apresentados as definições e conhecimentos básicos para o entendimento do conceito, tipos e características de volatilidade e a apresentação dos diferentes métodos de estimação de volatilidades: o estimador não viesado de mínima variância uniforme, o método de média móvel exponencialmente ponderada e o modelo GARCH. Estes conceitos serão exaustivamente utilizados na parte empírica do estudo.

No capítulo III, apresenta-se os contratos de opções e uma aplicação de volatilidade neste mercado e sua influência no preço das opções. Será apresentado também, nessa capítulo, o modelo de *Black&Scholes*² e seus parâmetros.

Na parte empírica desse trabalho serão analisados os contratos futuros de D11, DÓLAR e ÍNDICE para o período que compreende julho de 1994 até agosto de 1999. Esse período foi escolhido de forma a permitir o estudo do comportamento dos ativos durante diversas crises (crise do México, a crise Asiática e a crise Russa). Pretende-se comparar o comportamento dos ativos durante o período inicial de 1999 com os outros períodos conturbados de nossa história econômica recente. Os contratos de opções também serão

alvo de análise sendo estas do mesmo ativo objeto, Recibo de Telebrás (RCTB41), visto que são as opções mais líquidas do mercado nacional³. Com isso, o estudo pretende analisar o comportamento observado no mercado cerca de 1 ano antes da desvalorização, assim como aquele que se seguiu após janeiro e fevereiro, os meses mais instáveis para a economia.

O estudo fará no capítulo relacionada à evidência empírica, uma breve descrição do período da desvalorização cambial analisando aspectos econômicos e políticas adotadas para que o estudo fique melhor compreendido, mas por não ser o objetivo deste trabalho, não serão discutidas com profundidade as consequências e alternativas dessas políticas.

Os resultados obtidos neste trabalho pretendem retratar basicamente a importância da variação da volatilidade e dos preços dos derivativos em um período de conturbações na economia. Serão analisadas as decisões tomadas nesses momentos de crise econômica.

As conclusões a respeito da variação dos preços serão traçadas a partir das características dos contratos futuros e de opções. Além disso, a medida em que o mercado buscava um novo preço de equilíbrio, encontram-se muitas oscilações nos preços dos ativos, em função da incerteza dos rumos da economia.

² O modelo utilizado para o apreamento das opções foi o modelo de *Black&Scholes*.

³ A Telebrás (RCTB41) é responsável por cerca de 40% do volume financeiro diário da Bovespa (Bolsa de Valores de São Paulo, tendo 37% do peso na carteira teórica do Ibovespa, índice representativo do mercado nacional.

Os resultados obtidos mostrarão uma comparação entre a volatilidade implícita e histórica. Ao se calcular a volatilidade implícita e a histórica, nota-se que a primeira mostra uma boa estimativa em momentos de relativa instabilidade política e econômica. Porém, em períodos mais conturbados observa-se uma diferença significativa entre as duas e que a volatilidade histórica já não se comporta nos mesmos padrões da volatilidade implícita.

CAPÍTULO II - Volatilidade

II.1) Definições Básicas

Antes de ser introduzido o conceito de volatilidade é melhor que algumas outras definições básicas sejam colocadas.

O primeiro ponto a ser destacado, é o conceito de Distribuição Normal. Uma variável qualquer, x , segue uma distribuição normal caso sua função de densidade de probabilidade tenha a seguinte forma:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp(-1(x-\mu)^2/2\sigma^2), \quad -\infty < x < \infty \quad (II.1)$$

onde μ e σ^2 são parâmetros da distribuição e denotam respectivamente a média e a variância da distribuição⁴ (Gujarati, 1995).

⁴ A função de densidade de probabilidade tem o formato similar ao de um sino, e é simétrica com relação à sua média, ou seja, $f(x - \mu) = f(x + \mu)$, $\forall x \in \mathcal{R}$.

A função, $N'(x)$, é a função de densidade da probabilidade sob a curva normal.

$$N'(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-x^2/2} dx. \quad (II.2)$$

Basicamente, a distribuição normal pode ser completamente representada por dois parâmetros, a média e a variância⁵. Por exemplo, se quisermos designar x como uma variável aleatória distribuída de forma normal basta escrevermos:

$$x \sim N(\mu, \sigma^2) \quad (II.3)$$

O modelo clássico de regressão linear assume determinadas suposições básicas sobre o comportamento dos distúrbios. A primeira delas é de que os erros são distribuídos de forma normal. Além da suposição de normalidade, está a de homocedasticidade dos mesmos, ou seja, a variância dos distúrbios de cada observação independe da observação, isto é, é constante. Numa série temporal tem-se que a variância depende do tempo, ou seja, é constante em toda série. Se esta hipótese for quebrada teremos o que se chama de heterocedasticidade, o desvio padrão dependente do tempo. Mais a frente, quando for abordada a parte de estimação de volatilidade ficará mais clara a importância de tal

⁵ O desvio padrão (raiz quadrada da variância (σ^2)), é representado simplesmente por σ . O desvio padrão fornece a informação de qual é a probabilidade de um resultado estar a uma determinada distância da média. Por exemplo, há 68% de probabilidade de um resultado distar um desvio padrão da média. Dada a simetria da distribuição normal um valor tem 68% de probabilidade de estar no seguinte intervalo: $\mu \pm \sigma$. Se aumentarmos o intervalo considerado para $\mu \pm 2\sigma$ chegaremos a uma probabilidade de 95%. Nota-se que quanto maior o desvio padrão mais rapidamente a curva se afasta da média, tornando-se mais achatada.

distinção, visto que os modelos ARCH, e conseqüentemente os modelos GARCH, admitem heterocedasticidade condicional.

A volatilidade surge quando pensa-se em processos estocásticos. Será apresentado a seguir um processo estocástico para preços de ações em tempo contínuo com variável contínua⁶. No caso dos ativos financeiros, uma característica importante a ser adicionada é a aleatoriedade de seu comportamento. Segundo Varga, Issler e Avellaneda (1996) muitas vezes os preços também seguem uma tendência ao longo do tempo, no caso das ações esta tendência é positiva para compensar o investidor pelo risco assumido. Assim sendo, o preço das ações pode ser modelado como uma variável que se movimenta com uma tendência, mas flutua aleatoriamente ao redor dessa. Este tipo de variável é conhecida como processo estocástico. Neste trabalho apresentar-se-á um processo em especial que é o movimento Browniano (também chamado de processo de Wiener). Este é um processo aleatório que incorpora a idéia de movimentos puramente aleatórios, com tal aleatoriedade sendo capturada por uma distribuição normal.

De maneira intuitiva considere X um valor assumido pelo processo, podemos pensar em X como o preço de um ativo qualquer. Em um determinado instante de tempo, t , X pode assumir vários valores, dependendo do resultado de uma variável aleatória. Temos vários cenários que podem ocorrer, dado que um determinado cenário ocorra, por exemplo,

⁶ Hull (1998) salienta que, na prática, os preços de ações não seguem processos de variável contínua em tempo contínuo. Os preços das ações limitam-se a valores discretos e só variam quando a bolsa está em funcionamento. Não obstante, os processos em tempo contínuo e com variável contínua são um modelo útil para a maioria dos propósitos.

cenário B, temos $X(t, B)$. A aleatoriedade é descrita pela distribuição de probabilidade dos cenários.

O movimento Browniano é caracterizado por três propriedades básicas: a primeira, é ser um processo de Markov, ou seja, os preços futuros não dependem dos preços passados, apenas dos preços de hoje⁷, a segunda, é ter incrementos independentes, ou seja, qualquer variação no preço é independente da variação ocorrida em outro momento, a terceira diz que as variações tem distribuição normal com variância proporcional ao intervalo de tempo. Segundo Hull (1998), o movimento Browniano pode ser definido, então, por:

$$dz = \varepsilon\sqrt{dt} \quad (II.4)$$

O movimento Browniano pode ser generalizado adicionando-se uma variável para tendência. Por esse processo as variações nos preços seriam aleatórias mas teriam uma tendência definida. Pode-se definir este processo da seguinte forma:

$$dX = \alpha(x, t)dt + \beta(x, t)dz, \quad (II.5)$$

onde dz representa um movimento Browniano e α é o termo que representa a tendência. β é o chamado termo de volatilidade (neste caso dependente de t e X).

⁷ Segundo Hull (1998), a propriedade de Markov para os preços de uma ação é consistente com a forma fraca de eficiência de mercado, que determina que uma o preço atual de uma ação encerra todas as informações contidas em seus históricos de preços. Se essa forma de eficiência não fosse verdadeira, analistas técnicos poderiam obter retornos acima da média, ao interpretar gráficos de históricos de preços. Há pouca evidência de que sejam, de fato, capazes de fazê-lo.

Pode-se representar o modelo para retornos de ativos da seguinte forma:

$$\frac{dS_t}{S_t} = \mu_t dt + \sigma_t dz, \quad (II.6)$$

onde $\frac{dS_t}{S_t}$ é o retorno instantâneo, μ_t é a tendência e σ_t é a volatilidade.

Os preços são, portanto, não determinísticos. A equação apresentada acima é conhecida como Movimento Browniano Geométrico, onde se S_t cresce a uma taxa μ_t então o retorno instantâneo, $\frac{dS_t}{S_t}$, segue uma distribuição normal. No entanto, foi visto anteriormente que uma distribuição normal pode ser totalmente representada por dois números: μ_t e σ_t . Portanto, foi apresentada uma visão inicial do desvio padrão da mudança proporcional no preço da ação num período de tempo. Isto significa, segundo Hull (1998), que a volatilidade, como uma aproximação, pode ser interpretada como o desvio padrão da mudança no preço da ação em um ano⁸, ou proporcional a raiz quadrada do tempo. Mais precisamente, pode-se afirmar que tendo uma volatilidade diária para anualizá-la basta multiplicá-la pela raiz quadrada do número de dias naquele ano:

$$\sigma_{anual} = \sigma_{dia} \% \times \sqrt{252} \quad (II.7)$$

Será descrito a seguir suas características, tipos e, por fim, como estimá-la.

⁸ A volatilidade do preço de uma ação é exatamente igual ao desvio padrão do retorno continuamente capitalizado fornecido pela ação em um ano, segundo Hull (1998).

II.2)Tipos e características

Pode-se falar em dois tipos de volatilidade: volatilidade histórica e volatilidade implícita (*implied volatility*).

A volatilidade histórica de um ativo é tão somente aquela que resulta de uma estimativa baseada em dados históricos sobre variações do preço do referido ativo.

A volatilidade implícita é obtida usando um modelo de apreçamento de opções⁹. Um dos dados utilizados por modelos de apreçamento é a volatilidade do ativo. Normalmente estes modelos tem a volatilidade do ativo como único fator não facilmente identificável no mercado. Volatilidade implícita é, como o próprio nome aponta, aquela que, está implicitamente incluída no preço praticado no mercado. Portanto, é a volatilidade que está sendo esperada pelos participantes do mercado até a data do vencimento da opção. Sendo assim, se a volatilidade implícita for substituída no modelo de apreçamento, será obtido como resultado, um preço idêntico ao do mercado de opções, com tudo mais constante.

Nota-se pelas definições de volatilidade histórica e de volatilidade implícita que a primeira depende do estimador a ser utilizado (como será analisado na próxima seção deste capítulo), e a segunda irá depender do modelo de determinação de preços das opções a ser utilizado. Em ambos os casos observa-se que, conseqüentemente, pode-se obter

⁹ Opção é um contrato em que o portador tem o direito de comprar ou vender o ativo que a opção se refere (ativo subjacente).

diferentes estimativas e valores de volatilidade. Além do uso de modelos diferentes, a volatilidade implícita pode assumir diferentes valores também devido às características da opção analisada. A suposição de que cenários passados tenderão a se repetir no futuro gera uma desconfiança de que os valores da volatilidade histórica sejam influenciados por acontecimentos que já não mais surtem efeitos nos preços, além disto existe na volatilidade uma autocorrelação, ou seja, a volatilidade em certo período é possivelmente dependente da volatilidade de um período anterior, desde que os períodos cubram o mesmo espaço temporal.

Na seção seguinte serão abordados métodos para estimar a volatilidade. Deve ficar claro que estará se falando sobre a volatilidade histórica. A volatilidade implícita será melhor abordada no capítulo posterior sobre opções e o modelo de *Black&Scholes*.

II.3) Estimação de volatilidade

Existem diferentes métodos de estimação de volatilidade. Serão discutidos aqui três formas de se estimar a volatilidade: estimador não viesado de mínima variância uniforme, estimador de média móvel exponencialmente ponderada e finalmente o modelo GARCH (*Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*).

O primeiro passo para estimar-se volatilidade histórica é escolher o intervalo de tempo que é de interesse à análise, i. e., preço de fechamento diário, semanal, mensal e etc. Ou seja, definir a frequência da série que neste trabalho serão os preços de fechamento diário dos ativos.

Segundo Lemgruber (1995), sabe-se que nem todas as informações relevantes aos ativos negociados em bolsa chegam no horário de pregão. Portanto, se as estimativas da variância forem feitas com base em informações passadas, segundo os preços observados para o ativo-objeto, deverão ser considerados nos cálculos as informações que surgirem quando as bolsas estiverem fechadas, este é o motivo do uso do preço de fechamento.

II.3.1) Estimador não viesado de mínima variância uniforme

Esta é maneira mais usual, segundo Costa (1998), de se estimar a volatilidade histórica, sendo esta a primeira maneira a que alguém recorre quando precisa estimar a volatilidade de um mercado. Sendo assim, define-se:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (r_i - \bar{r})^2}{n-1}}, \quad (II.8)$$

onde se define n como o número de observações de retornos, então tem-se $n + 1$ observações de preços. Será definido r_i como o i ésimo retorno e \bar{r} como a média de retornos.

II.3.2) Estimador de Média Móvel Exponencialmente Ponderada

Este estimador consiste, basicamente, em considerar um maior peso para as observações mais recentes. Este procedimento, segundo JP Morgan (1994), tem a intenção

de fazer a estimativa reagir de forma mais rápida a movimentos bruscos de preços e, com isso, fazer com que a volatilidade estimada tenha um decaimento gradual à medida que as observações de choque se tornem mais velhas, visto que o peso destas irá diminuir com o passar do tempo.

A fórmula utilizada para estimar a volatilidade neste caso é:

$$\sigma_t^2 = \sum_{n=0}^{N-1} w_n (X_{t-n} - \bar{x}_{(t-N-1,t)})^2, \quad (II.9)$$

onde:

$$w_n = \lambda^n (1 - \lambda), \quad 0 < \lambda < 1. \quad (II.10)$$

Os w_n 's são os pesos que se somados igualam-se a uma unidade. λ é o fator de decaimento. Este fator de decaimento visa atribuir, para a primeira estimativa, um percentual maior a volatilidade estimada de um número n de observações passadas, fazendo com que seu complemento seja atribuído ao desvio padrão mais recente. Nas observações seguintes, a estimativa é refeita, valorizando os retornos mais recentes e sendo menos influenciada por informações antigas. Nota-se que o peso alocado para cada observação depende deste fator. Quando $N \rightarrow \infty$ temos:

$$\sigma_t^2 = \lambda \sigma_{t-1}^2 + \lambda (1 - \lambda) (X_t - \bar{x}_{t-1})^2 \quad (II.11)$$

$$\bar{x}_{t-1} = \sum_{i=0}^{\infty} \lambda^i X_{t-1-i} \quad (II.12)$$

Nota-se também, que as estimativas são refeitas a cada nova observação. Se faz necessário definir σ_0^2 para se chegar à σ_t^2 :

$$\sigma_0^2 = \frac{1}{k} \sum_{t=0}^{k-1} (X_t - \bar{x}_{(0,k-1)})^2, \quad (II.13)$$

onde $\bar{x}_{(0,k-1)}$ é a média aritmética do tempo t a $k-1$.

A utilização do estimador de média móvel exponencialmente ponderada depende da escolha do fator ótimo de decaimento, mas como é necessário um teste estatístico para a adoção de um fator ótimo, no capítulo destinado a parte empírica deste trabalho será utilizado uma média dos fatores utilizados pelos agentes de mercado.

II.3.3) Modelos GARCH

Um processo regressivo de ordem p [AR(p)] para uma variável y_t tem a seguinte forma:

$$y_t = c + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + u_t, \quad (II.14)$$

onde u_t é chamado ruído branco, isto é:

$$E(u_t) = 0, \quad (II.15)$$

$$E(u_t u_\tau) = \sigma^2, \text{ para } t = \tau, \quad (II.16)$$

$$E(u_t u_\tau) = 0 \text{ em outros casos.} \quad (II.17)$$

Um processo AR é um processo onde a variável independente é explicada por ela própria, só que defasada de p períodos, onde p é ordem do processo.

Segundo Varga, Issler e Avellaneda (1996), descobriu-se que os modelos ARCH/GARCH (processo *generalized ARCH*) poderiam ser uma boa aproximação para modelos de volatilidade do retorno dos ativos financeiros, após serem aplicados à inflação. A razão era simples: além de manter o arcabouço de *log-normalidade* das séries de finanças analisadas, GARCH permitia *volatility clustering*, i.e., momentos de alta e baixa volatilidade tendem a se concentrar no tempo.

O mais simples e mais usado modelo GARCH é o GARCH (1,1). Segundo Users Guide Eviews (1995), este modelo tem as principais características presentes nos modelos mais elaborados e consegue resultados tão bons quanto os resultados obtidos nesses. Esses modelos derivam da suposição que a volatilidade segue um processo AR e são uma tentativa de aplicar as características de reversão para média e de autocorrelação da volatilidade para ajudar na sua estimação. A equação é dada a seguir:

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2, \quad (II.18)$$

onde a variância hoje, σ_t^2 , dependerá de três fatores: uma constante, ω , as informações mais recentes sobre a variância, $\alpha \varepsilon_{t-1}^2$ (termo ARCH) e a previsão da variância de ontem, $\beta \sigma_{t-1}^2$ (termo GARCH). Assume-se, em geral, que ω , α e $\beta \geq 0$, para garantir uma variância condicional não-negativa. Segundo Users Guide Eviews (1995), o termo (1,1) no

GARCH (1,1) refere-se a um termo GARCH e outro ARCH. Já os resíduos são definidos pela equação convencional:

$$y_t = x_t \pi + \varepsilon_t \quad (II.19)$$

Se a equação (II.18) for defasada em um período e substituída por uma variância defasada do lado direito da equação, então uma expressão defasada de dois períodos do retorno ao quadrado e uma variância defasada também de dois períodos será obtida. Por sucessivas substituições pela variância condicional defasada obteremos a expressão abaixo:

$$\sigma_t^2 = \frac{\omega}{(1-\beta)} + \alpha \sum_{j=1}^{\infty} \beta^{j-1} \varepsilon_{t-j}^2 \quad (II.20)$$

O modelo GARCH enfatiza as observações mais recentes, portanto σ_t^2 , é a previsão da variância um dia na frente baseada nas informações do passado, esta é chamada variância condicional.

O modelo GARCH (p,q) é o de maior ordem na família GARCH, mas é menos popular que o GARCH (1,1). Este pode ser estimado pela escolha de um p ou q maiores que 1. A representação do modelo é a seguinte:

$$\sigma_t^2 = \omega + \alpha \sum_{i=1}^q \varepsilon_{t-i}^2 + \beta \sum_{j=1}^p \sigma_{t-j}^2 \quad (II.21)$$

onde p é a ordem do termo GARCH e q é a ordem do termo ARCH.

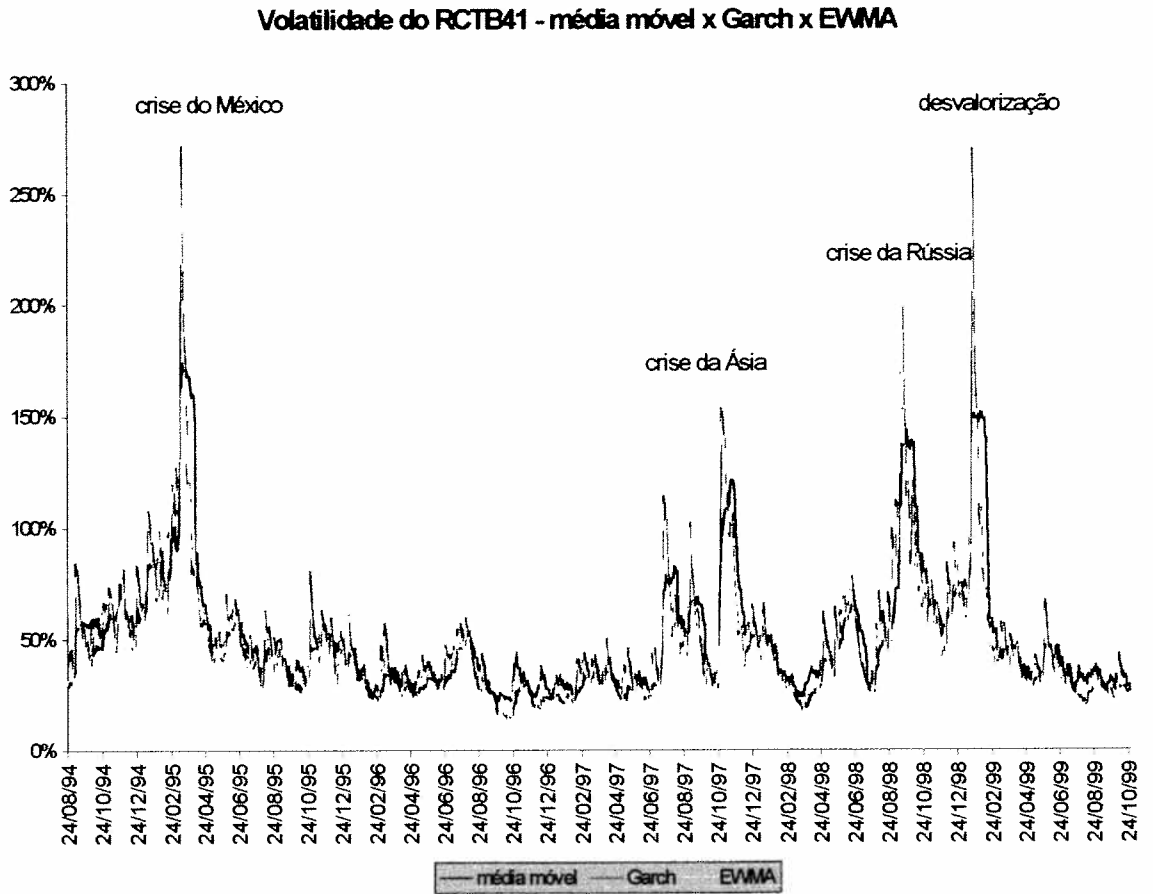
II.4) Comparação entre os métodos

Como veremos no próximo capítulo sobre o modelo de *Black&Scholes*, uma estimativa precisa de volatilidade levará à estimativas consistentes de preços de opções e de outros derivativos.

Existem muitos métodos para estimar volatilidade, mas os que foram retratados neste estudo conseguirão representar os diferentes resultados. A seguir é apresentado o gráfico que traz as estimações de volatilidades pelos métodos de média móvel exponencialmente ponderada (EWMA), média móvel e pelo modelo GARCH.

Pode-se notar que todos os métodos captaram os períodos de crises, mas é visível a diferença entre os três. O gráfico mostra que a reação dos modelos GARCH e EWMA são mais “nervosas”, o que será melhor analisado no capítulo IV. Na parte empírica desta monografia será feita uma comparação entre estes métodos e a volatilidade implícita obtida do modelo de *Black&Scholes*.

Gráfico 1 – estimativas de volatilidade para RCTB41



CAPÍTULO III - Opções e o modelo Black&Scholes

Neste capítulo será feita uma introdução ao mercado de opções e será apresentado o mais consagrado modelo de apreamento de opções de compra européias (as mais usuais no mercado brasileiro) utilizado, bem como a fórmula de apreamento do modelo de *Black&Scholes*. Com o desenvolvimento deste modelo, a volatilidade ganhou mais espaço e mais atenção dentre os traders e participantes do mercado. Será comprovada a importância da estimação de volatilidade sendo esta de suma importância para a tomada de decisões, visando lucros potenciais ou eliminação de perdas. Serão vistos, ainda, os parâmetros do modelo e será retornado ao já abordado conceito de volatilidade implícita.

O modelo de *Black&Scholes* é um marco na história do mercado de opções. A partir desse modelo passou a ser possível apreçar opções com maior rigor, e com base em premissas bastante coerentes com o mercado financeiro.

III.1) Opções e suas características

Uma opção é um contrato entre duas partes, o comprador e o lançador. A opção dá o direito a seu detentor de comprar ou vender o ativo numa determinada época, por um preço pré-determinado.

Temos basicamente dois tipos de opções: de compra e de venda. A primeira dá direito a seu portador de adquirir o ativo subjacente (o que a opção se refere) a um preço pré-determinado, o preço de exercício. Por sua vez, uma opção de venda dá o direito a seu comprador de vender um ativo a um preço pré-determinado (preço de exercício). O preço de exercício é o preço pelo qual a opção pode ser exercida, isto é, o preço pelo qual pode-se comprar ou vender o ativo caso deseje exercê-la. O preço que se paga pela opção, ou seja, por este direito, é o prêmio.

A data de exercício de uma opção é o prazo que se tem para exercê-la. Neste ponto, são diferenciadas dois tipos de opções, no que diz respeito ao exercício: são as opções americanas e européias. As primeiras podem ser exercidas a qualquer momento até a data de exercício, já as últimas, somente na data de exercício¹⁰.

Antes de prosseguir, se definirá a nomenclatura que será usada: X é o preço de exercício e S é o preço do ativo subjacente no mercado à vista. Portanto, uma opção está

¹⁰ Hull (1998) ressalta que, teoricamente, não é ótimo exercer opções de compra americanas em ações que não pagam dividendos antes da data de exercício, visto que é mais rentável mantê-la até o exercício que realizar um exercício prematuro.

dentro do dinheiro se $S > X$ (o que implica em fluxo de caixa positivo), está *fora* do dinheiro se $S < X$ e está *no* dinheiro se $S = X$.

O valor de uma opção na data de exercício pode ser definido como uma função de X e S :

$$f(X,S) = \text{Max}(S-X;0), \text{ para uma opção de compra.}$$

$$f(X,S) = \text{Max}(X-S;0), \text{ para uma opção de venda.}$$

Na ausência de custos de transação, uma opção de compra é exercida se $S > X$ o que proporcionaria um ganho de $S-X$; caso $S < X$ a opção não será exercida e o retorno será nulo. Análise similar é válida para uma opção de venda¹¹.

Dada esta visão básica e preliminar será visto na próxima seção o consagrado modelo de *Black&Scholes*, suas características e parâmetros.

III.2) O modelo de Black&Scholes

Em seu trabalho pioneiro, Fischer Black e Myron Scholes (1973) conseguiram resolver sua equação diferencial para obter fórmulas exatas para os preços de opções de compra e de venda européias. Estas fórmulas serão apresentadas no decorrer deste capítulo.

¹¹ A inexistência dos custos de corretagem fazem com que não sejam levados em conta as oportunidades de arbitragem.

III.2.1) Premissas básicas

As premissas elaboradas por Black e Scholes são as seguintes:

- mercados de capitais são perfeitos. Não há custos de transação, nem impostos. Os ativos são perfeitamente divisíveis. Não há oportunidades de arbitragem.
- Existe uma taxa de juros livre de risco à qual todos os investidores podem emprestar e tomar emprestado, e que é constante na vida da opção.
- As ações não pagam dividendos. Assim o modelo vale para opções europeias e opções de compra americanas.
- A negociação dos mercados é contínua.
- Os preços das ações seguem um processo de difusão (já detalhado anteriormente), com μ e σ constantes.

Quando se considera os preços seguindo um processo de difusão (equação II.5) implica-se que os retornos seguem uma distribuição lognormal, ou seja, o logaritmo natural dos preços relativos são distribuídos de forma normal (equação II.1)¹².

¹² Segundo Dubofsky (1993) a premissa de distribuição lognormal para retornos é bem realista pois limita os valores que os mesmos podem assumir, diferentemente da distribuição normal na qual a variável pode assumir qualquer valor com certa probabilidade. O log natural dos preços relativos (= 1+ retorno) pode, desta forma, assumir qualquer valor, mas o próprio retorno é limitado a -100%. A cauda de uma distribuição lognormal está presa no zero quando o retorno é -100%, isto evita que os preços assumam valores negativos, o que seria impossível.

III.2.2) A fórmula de Black&Scholes

Hull assinala que o preço de uma opção no modelo *Black&Scholes* dependerá exclusivamente da volatilidade da ação a que a mesma se refere e não do valor esperado da mesma.

Pode-se definir então:

$$c = S \times N(d_1) - Xe^{-rT} \times N(d_2) \quad (III.1)$$

$$p = Xe^{-rT} \times N(-d_2) - S \times N(-d_1) \quad (III.2)$$

onde,

$$d_1 = \frac{\ln(S/X) + (r + \sigma^2/2) \times T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (III.3)$$

$$d_2 = \frac{\ln(S/X) + (r - \sigma^2/2) \times T}{\sigma\sqrt{T}} \quad (III.4)$$

e tem-se as seguintes variáveis: r - taxa de juros livre de risco, S - preço da ação, X - preço de exercício, T - tempo, medido em anos até o exercício, σ - volatilidade, c - preço de uma opção de compra e p - preço de uma opção de venda. A taxa de juros livre de risco pode ser vista como custo de oportunidade, ou um rendimento mínimo aceitável numa operação.

De acordo com Hull (1998), $N(x)$ é uma função de distribuição cumulativa de uma normal, i.e., é a probabilidade de uma variável que segue uma distribuição normal ser

menor que determinado valor x , e, Xe^{-rT} é o valor presente do preço de exercício. Existem tabelas para a determinação do valor de $N(x)$ na maioria dos livros de estatística e alguns de opções¹³.

III.2.3) Volatilidade implícita

Conforme já apresentado na seção II.2 a volatilidade implícita é aquela coerente com o preço dado no mercado de opções; substituindo este valor nas fórmulas de apreçamento de opções, com tudo mais constante, devemos achar um preço igual ao preço negociado pelo mercado. A mesma pode ser usada como projeção da volatilidade durante a vida restante da opção ou para acompanhar a opinião do mercado no que diz respeito à volatilidade esperada.

A volatilidade implícita é obtida ao ser efetuada a substituição na fórmula do prêmio da opção e do preço do ativo praticados no mercado, assumindo os valores de taxa de juros sem risco. Assim, os valores obtidos irão depender da opção ser de compra ou de venda, se é americana ou européia, se está *dentro*, *no* ou *fora* do dinheiro e etc¹⁴.

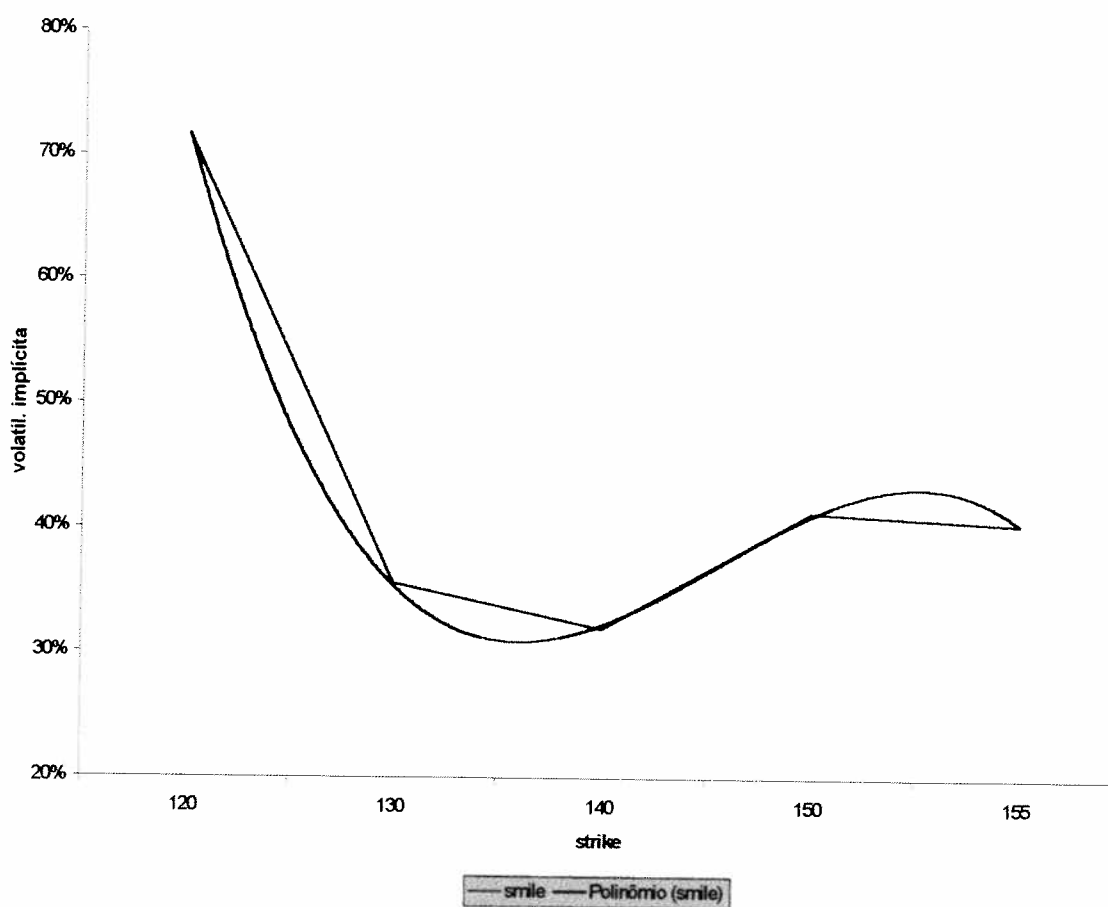
Quando obtem-se diferentes volatilidades implícitas para opções de mesmas características, mas com diferentes preços de exercício, podemos identificar uma dependência

¹³ Ver Hull (1998) e Dubofsky (1993)

¹⁴ No fechamento do dia 12 de novembro de 1999, uma opção de compra do Recibo de Telebrás PN (RCTBL95), com data de vencimento em 20/12/99, tinha uma volatilidade implícita de 35,39% ao ano. Este resultado foi obtido usando-se o modelo Black&Scholes, com as seguintes características da opção: $S = 167,50$, $c = 7,00$, $X = 170$, $r = 21,43\%$ e $T = 22$ dias úteis. Isto significa que o mercado, no fechamento deste dia, possuía uma expectativa de volatilidade de 35,39% ao ano para o RCTB41, no período entre 12 de novembro de 1999 a 20 de dezembro de 1999.

da volatilidade a esse preço de exercício. O termo SMILE vem da forma com que os gráficos de volatilidade *versus* o preço de exercício se apresentaram e em que primeiro se observou esta dependência. A seguir é exemplificado o SMILE de volatilidade para o mercado nacional. Na parte empírica apresentam-se alguns gráficos do SMILE de volatilidade e se identifica qual é o padrão observado principalmente nos períodos de crise. A evidência empírica demonstra que quanto mais *no* dinheiro estiver a opção menor a volatilidade e quanto mais *dentro* ou *fora* do dinheiro, maior a volatilidade.

Gráfico 2 – SMILE de volatilidade I



Este gráfico mostra a volatilidade implícita para as opções de diferentes preços de exercício no dia 11/02/98, dados de preço de fechamento com o ativo objeto (RCTB41) sendo cotado a 136.30. Pode-se notar que a opção mais *no* dinheiro, ou seja, com preço de exercício 140, possui o menor nível de volatilidade, enquanto que as de 120 e 150, respectivamente as mais *dentro* e *fora* do dinheiro tem níveis mais elevados. O gráfico também aponta para a ocorrência de volatilidade menor para a opção de 155, isso provavelmente se deve ao fato de essa opção não tenha tido muita liquidez nesse dia.

Pretende-se com isso apontar em que sentido os níveis de volatilidade são alterados no SMILE de volatilidade em períodos de incerteza e em momentos mais estáveis. Desta forma, através do comportamento das opções, poderemos identificar se o mercado tem uma expectativa de volatilidade comum para o período. Vale adiantar que, no Brasil, em certos momentos, este padrão não se observa.

III.2.4) Sensibilidade – as letras gregas

Além de apreçar opções, o modelo de *Black&Scholes* fornece também parâmetros que relacionam todas as variáveis do modelo e assim são de grande utilidade para que o mercado possa determinar a sensibilidade das mesmas e tomar posições de hedge. Segundo Costa (1998) posição *hedgeada*, significa uma posição sem riscos, de forma que o resultado ao longo do tempo seja sempre zero. A análise destes parâmetros tem por objetivo identificar o aumento do nível de volatilidade e como estes momentos de crise podem alterar o padrão de cada letra. Para isso, serão analisados os gráficos ao longo desta seção em períodos estáveis e

em momentos conturbados, culminando com a conclusão de como é o padrão nesses períodos.

A seguir serão apresentados os parâmetros de opções de compra que são representadas por letras gregas¹⁵:

- **DELTA**

O delta de uma opção é a taxa de variação do preço da opção em relação ao preço do ativo objeto, ou seja, é a derivada do prêmio da opção em relação ao preço do ativo. Desta forma, delta mede qual a fração de real que varia a opção para cada R\$ 1,00 de acréscimo no preço à vista. Graficamente, o delta é a inclinação da curva que relaciona os preços da ação e da opção. Sua fórmula pode ser expressa da seguinte forma:

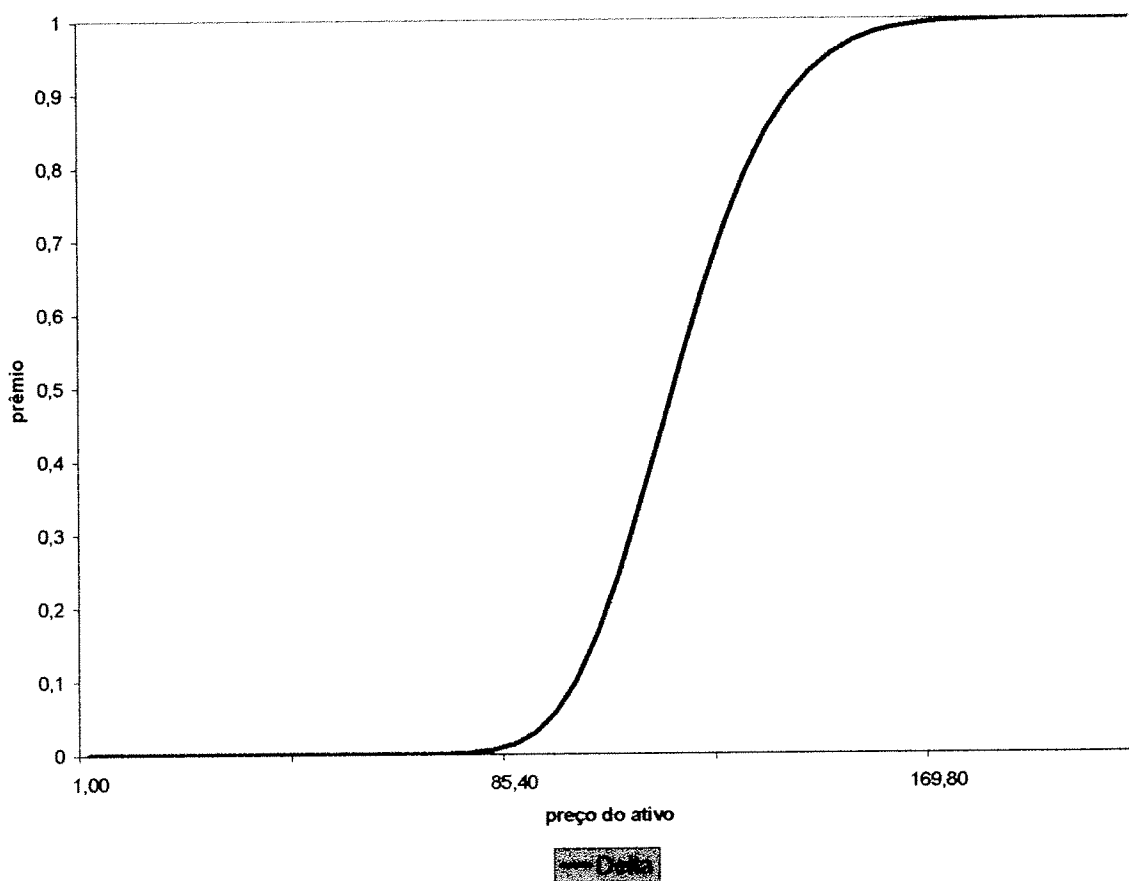
$$\Delta = \frac{\Delta c}{\Delta S} \quad (III.5)$$

onde, c é o prêmio da opção de compra e S é o preço do ativo objeto e Δ é o próprio delta.

Utilizando este parâmetro, muitos operadores protegem suas carteiras contra oscilações no preço das ações através de operações de Delta hedge. Ao contrário de um hedge em futuros, para o qual basta tomar uma posição contrária para neutralizar uma posição à vista, o hedge em opções não poderá ser implementado com uma única operação, porque a relação entre a variação de preço do ativo e a variação consequente de preço da opção não é constante. Esta relação é dado pelo delta da opção. É o delta que informa qual o acréscimo (ou

decréscimo) no preço de uma opção causado pelo acréscimo de R\$1,00 no preço à vista. Contudo, o valor do delta não é constante ao longo da vida da opção. Particularmente, ele sofre influência do próprio valor do ativo: quanto mais sobe o ativo mais sobe o delta. A consequência disso é que tão logo tenha sido estabelecida a relação de hedge e funcionando para a variação de R\$1,00, o hedge terá de ser recalculado, pois o delta, durante o acréscimo no preço do ativo, terá variado. Devido à necessidade de atualização constante, este hedge é um tipo de hedge dinâmico. Abaixo, mostra-se o gráfico padrão do delta.

Gráfico 3 - delta



¹⁵ Para ver as derivações das sensibilidades ver Lemgruber (1995).

O preço de exercício desta opção é de 120, o preço do ativo é de 106, faltando 12 dias para o vencimento, a uma taxa de juros livre de risco de 25% ao ano e com uma volatilidade de 65% ao ano. Com isso, pode-se observar que quanto mais abaixo do preço de exercício, o delta é mais próximo de zero, indicando que não haverá exercício, mas se o preço estiver muito acima de X, o delta se aproxima de 1, indicando um exercício quase certo.

- **GAMMA**

O gamma de uma opção reflete a taxa de variação do delta da mesma com relação ao preço do ativo à vista, ou seja, é a derivada do delta em relação ao preço do ativo. Gamma é uma medida de quanto varia o delta de uma opção para cada R\$1,00 que o preço do ativo subir. Quanto maior o gamma, mais sensível será o delta às oscilações do preço do ativo objeto. O delta e gamma estão para o preço do ativo assim como, respectivamente, a velocidade e aceleração de um móvel estão para o tempo. Representamos o gamma de uma opção da seguinte forma:

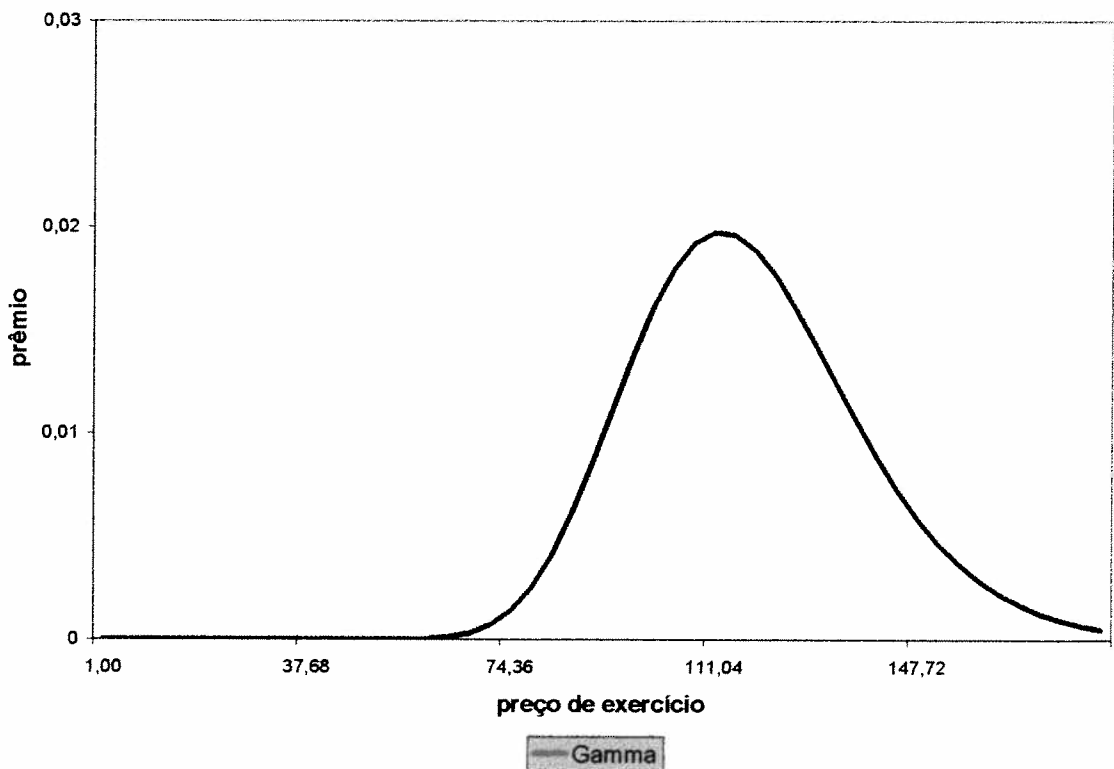
$$\gamma = \frac{1}{S\sigma\sqrt{t}} N'(d_1) \quad (III.6)$$

onde γ é o gamma e $N'(d_1)$ é a função de densidade da probabilidade sob a curva normal (ver equação II.2).

Segundo Varga, Issler e Avellaneda (1996), o valor gamma é muito útil para avaliar o efeito de um salto no preço à vista sobre o valor de uma opção. Ainda assim o resultado também não é exato porque o gamma, assim como o delta, varia com o preço do ativo, mas nesse caso a diferença é ínfima.

Será apresentado a seguir o gráfico do comportamento do gamma para uma opção de compra europeia. O preço de exercício desta opção é de 120 reais, o preço do ativo é de 99.50, faltando 22 dias para o vencimento, a uma taxa de juros livre de risco de 25% ao ano e com uma volatilidade de 60% ao ano.

Gráfico 4 - gamma



O gráfico apresenta o padrão do gamma, ou seja, pode-se observar que quanto mais próximo do preço de exercício, maior é o gamma. O ponto de máximo é o ponto onde o preço do ativo é igual ao preço de exercício. Este ponto também é onde a inclinação do gráfico do delta muda, ponto de inflexão, mostrando a relação que existe entre delta e gamma (o gráfico do gamma mostra a variação do gráfico do delta).

- **THETA**

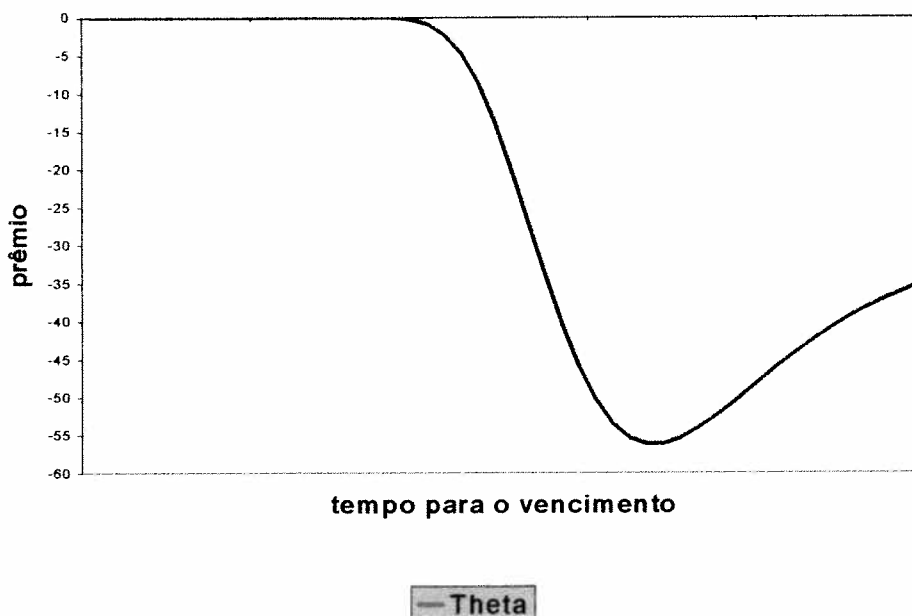
O theta de uma opção pode ser definido como a taxa de variação do preço da opção ao longo do tempo para o vencimento, com as demais variáveis permanecendo inalteradas, ou mais simplesmente como a perda do valor da opção no tempo.

Este parâmetro pode ser descrito da seguinte forma, onde Θ é o theta.

$$\Theta = \frac{S\sigma}{2\sqrt{t}} N'(d_1) + r \times X e^{-rT} N(d_2) \quad (III.7)$$

A idéia deste parâmetro é a de que, quanto mais próximo ao vencimento mais desvalorizada estará a opção (chegando a zero para opções muito fora do dinheiro). Desta forma temos sinal quase sempre negativo para o theta.

Gráfico 5 - theta



O gráfico do theta apresenta a perda de valor da opção com o passar do tempo. Esta opção tem o preço de exercício de 120 reais, a uma taxa de juros de 25% ao ano, uma volatilidade de 60% ao ano e a 22 dias de seu vencimento. O ativo nesse momento apresenta-se a 99,20 reais. Na parte empírica será constatado a mudança no padrão apresentado acima.

- **VEGGA**

O vega¹⁶ de uma opção indica a taxa de variação do prêmio da opção com relação à volatilidade do ativo à vista, em outras palavras, indica o grau de sensibilidade do prêmio da opção à volatilidade do ativo objeto, ou seja, ele mede quantas unidades monetárias o preço da opção sobe (ou cai) se a volatilidade sobe 1%. Sua expressão é:

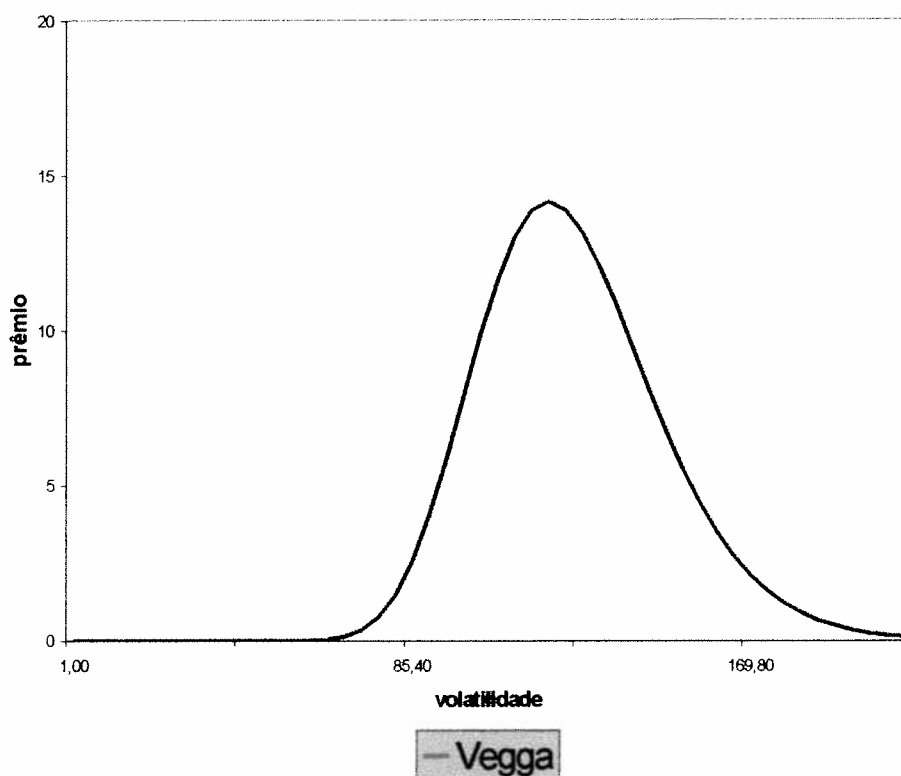
$$\kappa = S\sqrt{t} N'(d_1) \quad (III.8)$$

onde κ é o vega..

Os vegas de opções de compra são sempre positivos. À medida que opções ficam muito *fora* ou *dentro* do dinheiro, seus vegas vão se aproximando de zero. Operações vega-neutras procuram neutralizar os efeitos das oscilações na volatilidade do ativo objeto sobre as opções em carteira.

Essas características são melhor identificadas pelo gráfico abaixo que mostra uma opção de compra de preço de exercício 120, juros livre de risco 25% ao ano, volatilidade 60% ao ano, a 23 dias do vencimento e com o preço do ativo a 94 reais.

Gráfico 6 - vegga



- **RHO**

¹⁶ O vega não é uma letra grega e pode ser representado também por κ - kappa

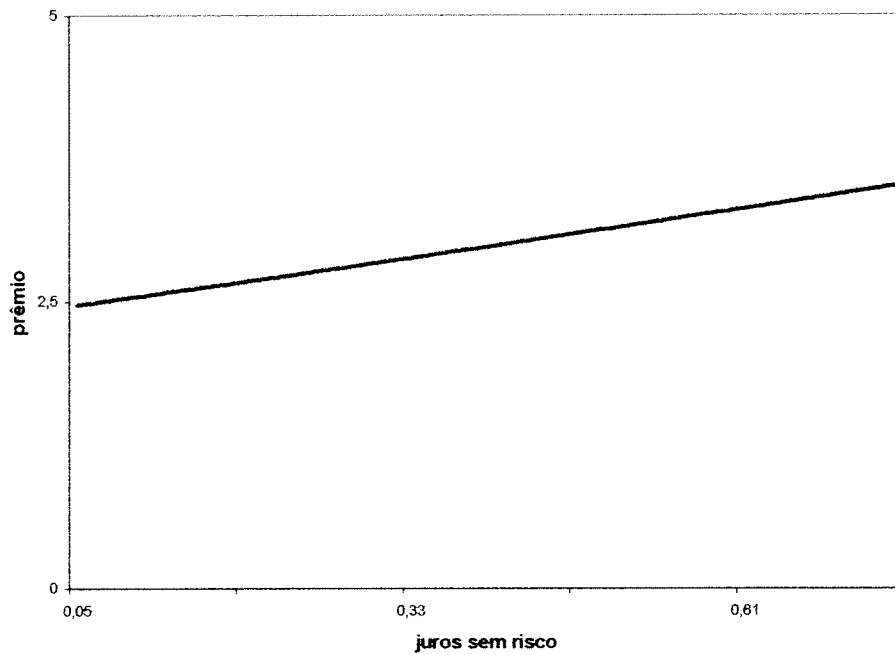
O Rhô de uma opção irá indicar a taxa de variação do prêmio da opção com relação a taxa de juros. Esta relação é expressa pela seguinte relação:

$$\rho = TXe^{-rT} N(d_2) \quad (III.9)$$

onde ρ é rho.

Os rhos de opções de compra são sempre positivos. Esses parâmetros tendem a ser maiores quando as opções estão muito *dentro* do dinheiro e tendem a zero quando as mesmas estão muito *fora* do dinheiro. Ilustra-se abaixo o comportamento do parâmetro rho.

Gráfico 7 - rho



- Rho

Portanto, na seção destinada a evidência empírica será comprovado a diferença entre os métodos de estimação apresentados no capítulo II e a volatilidade implícita obtida através do modelo estudado no capítulo III. Desta forma foram apresentados os conceitos teóricos que serão o embasamento do capítulo IV, a evidência empírica.

Capítulo IV – A evidência empírica

Neste capítulo IV, será desenvolvido o estudo empírico para o período que engloba quase a totalidade do Plano Real, introduzido em julho de 1994. O estudo irá aplicar os conceitos levantados na parte teórica do trabalho, bem como traçar um comparativo do comportamento dos ativos dentre as crises que assolaram o país, seja interna ou externamente. Assim, se pode identificar se o comportamento dos mesmos é condizente com a instabilidade econômica gerada com a desvalorização cambial de 1999.

IV.1) O período estudado

Na análise desse trabalho foram utilizados dados de agosto de 1994 a outubro de 1999. Com isso faz-se necessário elaborar um estudo sobre as condições macroeconômicas do país no período, assim como uma visão global das economias emergentes do mundo todo.

Em 1^o de julho de 1994 entrava em vigor o Plano Real, plano de estabilização econômica do governo Itamar Franco. Após longos períodos de inflação descontrolada, o

Real fez com que a inflação caísse para níveis mais aceitáveis e o PIB voltasse a crescer mesmo que ainda a níveis pouco satisfatórios.

Durante estes anos, por muitas vezes o plano de estabilização foi colocado à teste, levando o governo a adotar medidas para garantir a manutenção da estabilidade. Muitas vezes as crises não se originavam dentro do país, mas com o processo de globalização, a condição do Brasil de país emergente, a dependência doméstica do capital externo e a fragilidade do sistema fiscal fragilizavam o país frente às crises que se originavam em países emergentes de todo o mundo.

No final de 1994, o país teve de enfrentar o primeiro grande desafio do novo plano econômico: crise do México. Consecutivos déficits em conta corrente do Balanço de Pagamentos mexicano fizeram o governo do México perder divisas e tornar-se vulnerável a ataques especulativos. O peso pressionado e fatores políticos internos como a morte do candidato à presidência, acabaram gerando uma crise cambial. Além da crise, o sistema financeiro mexicano estava extremamente fragilizado, com os bancos superalavancados em empréstimos externos e desprotegidos contra oscilações do câmbio. Segundo o IPEA (1999) isso exigiu uma intervenção maciça do governo para preservar o sistema depois da crise. Nesta altura dos acontecimentos, era impossível não associar o México com os demais países emergentes. A alta dependência desses em fluxos de investimentos externos fez com que investidores praticassem uma fuga de capitais em massa tanto do México quanto de outros mercados emergentes. Por se tratar de um importante país emergente e por estar situado no mesmo continente, esse efeito foi bastante sentido no Brasil.

A situação foi se revertendo à medida que se percebeu uma maior solidez do sistema financeiro brasileiro e a forma como o governo brasileiro agiu frente à crise. Assim o Brasil conseguiu receber novamente fluxos recordes de capitais externos.

Menos dramáticos foram os anos seguintes até outubro de 1997. Mais uma vez o país foi pego por uma crise originada no outro lado do mundo. Coreia do Sul, Tailândia, Filipinas, Malásia e Indonésia deram origem à uma crise que assolou o mundo em desenvolvimento. No caso asiático, os problemas começaram, de fato, no sistema financeiro, ao contrário do mexicano que começou por conta nas distorções do preço da moeda, e só depois se estenderam à uma crise cambial. As altas taxas de crescimento destes países ao longo da década de 80 e 90 geraram conseqüências. Os grandes grupos destes países não suportaram a má administração dos investimentos e superalavancados originaram uma reação de crises em cadeia por toda região do sudeste asiático. Com isso, o clima de incerteza se instalou nos demais países emergentes.

Segundo IPEA (1999) o governo brasileiro foi enérgico, a fim de manter o ajuste gradual do câmbio. Após as turbulências procurou-se garantir a consistência macroeconômica e foi anunciado um conjunto de medidas com o objetivo de reduzir o déficit fiscal, ao mesmo tempo em que se elevava fortemente as taxas de juros. A repercussão externa positiva parecia indicar que a estratégia gradualista tinha chances de ser bem sucedida, visto que um dos principais fatores da crise da Ásia, o profundo desequilíbrio em seus sistemas financeiros, não tinha muita relevância no Brasil. No entanto, seja pelas dificuldades de natureza política para implementar o ajuste fiscal proposto, seja pelo crescimento surpreendente dos fluxos de capitais no início de 1998, as

medidas anunciadas foram apenas parcialmente colocadas em prática e em agosto de 1998 o país foi apanhado pela crise da Rússia em posição extremamente vulnerável, com um déficit público ainda elevado e uma dívida pública em rápido crescimento.

Embora o BC tivesse dado início, já em maio de 98, a um processo de ampliação gradual da banda de flutuação do real, o qual levaria em um futuro distante ao regime de câmbio livre, a trajetória idealizada era de pequenos ajustes acompanhando de perto a correção do câmbio real e a melhora dos fundamentos, em particular na política fiscal. A estratégia de ajustes graduais, que em relação a política fiscal sofrera um baque profundo no período da crise da Ásia, mostrou-se inviável após a transformação do cenário externo que se seguiu à crise da Rússia. Sob a pressão de uma forte perda de reservas, o governo ainda tentou sustentar o câmbio por meio de um alargamento da banda de flutuação, que coincidiu com a saída do então presidente do Banco Central, mas acabou sendo forçado a abandoná-la depois de apenas dois dias, passando então a um regime de livre flutuação

Segundo IPEA (1999), a perspectiva de um período prolongado de instabilidade e retração econômica após a desvalorização cambial, associada à necessidade de se manter uma política monetária apertada para amortecer seu efeito inflacionário, começou a ser, a partir de meados de março, substituída pela percepção gradual de que os dois principais problemas econômicos até o final do ano passado, o desequilíbrio fiscal e o câmbio sobrevalorizado, estavam sendo equacionados de modo a abrir espaço para uma retomada sustentada do crescimento.

Portanto, esta breve apresentação do período em questão tem o objetivo de mostrar os pontos onde provavelmente teremos ocorrências de alterações nos padrões de

volatilidade. Visto que estes períodos de incertezas são acompanhados de grandes variações de preços, segundo a teoria apresentada nos capítulos II e III, os níveis de volatilidade irão ser elevados e os resultados da evidência empírica mostrarão isto, além de uma avaliação dos preços do ativo objeto com os prêmios das opções do RCTB41.

IV.2) A volatilidade no período

O objetivo desta seção IV.2.1 é expor os resultados obtidos com os métodos de estimação de volatilidade apresentados no capítulo II, para o período em questão. Portanto pretende-se calcular os valores das volatilidades de ativos do mercado à vista e do mercado futuro e observar se o padrão observado na crise cambial deste ano é condizente com os padrões anteriormente observados.

Nessa mesma seção, pretende-se determinar qual o melhor método de estimação de volatilidade entre os métodos de média móvel, o de média móvel exponencialmente ponderada (EWMA) e o modelo GARCH. Os métodos citados serão utilizados para estimar a volatilidade do RCTB41, do Ibovespa futuro, do dólar comercial futuro e do DI1 futuro.

Na seção IV.2.2 estará se observando os resultados que o modelo de *Black&Scholes* nos forneceu. A fórmula *Black&Scholes* demonstrará os níveis de volatilidade esperados pelo mercado ao longo do período. Com isso, a utilização do SMILE de volatilidade e dos parâmetros do modelo ajudarão na análise da alteração dos níveis de volatilidade nos períodos mais conturbados.

Por fim, serão confrontados os resultados obtidos pelas estimativas do capítulo II com as volatilidades implícitas derivadas das fórmulas de *Black&Scholes*, apresentadas no capítulo III.

IV.2.1) A volatilidade estimada

Nesta seção IV.2.1 apresentam-se os diferentes métodos de estimativas de volatilidades nos mercados à vista e futuro. Ou seja, o RCTB41, para o mercado à vista e o contrato de Ibovespa (IND), contrato de dólar comercial (DOL) e contrato de depósitos interfinanceiros de 1dia (DI1)¹⁷, para o mercado futuro.

Conforme já apontado na introdução deste trabalho (ver nota de rodapé nº3), apenas um ativo do mercado à vista foi escolhido para tomar parte dos estudos; o Recibo de Telebrás, ou RCTB41, nome dado ao ativo mais líquido da Bovespa após a privatização do sistema Telebrás. Este ativo, sempre apresentou a maior participação na carteira teórica do índice Ibovespa para o período em questão. Portanto, ao obtermos as volatilidades para este ativo, estaremos obtendo um retrato fiel do mercado acionário brasileiro¹⁸.

¹⁷ Os dados utilizados na parte empírica foram obtidos das seguintes fontes: banco de dados BLOOMBERG (agência de notícias internacional), BOVESPA (Depto. Estatístico da Bovespa), APLIGRAF (banco de dados especializado em economia financeira), ECONOMÁTICA (banco de dados especializado em economia financeira), BM&F (banco de dados da Bolsa de Mercadorias e Futuros) e o banco de dados da FLEMING GRAPHUS CCVM.

¹⁸ Não seria possível fazer análise para um ativo mais abrangente, visto que as opções de Ibovespa (que seriam uma alternativa) não tem liquidez necessária para gerar uma série confiável de dados para o estudo.

O mercado futuro está nessa análise já que é de suma importância que se faça uma observação dos ativos mais negociados na BM&F (Bolsa de Mercadorias e Futuros). Faz-se necessário observar principalmente esses ativos visto a utilização dos mesmos para operações de hedge. Os contratos de DI1 são os mais importantes hedges para operações de renda fixa, ou seja, contra as variações nas taxas de juros. Já o contrato de dólar tem sua importância ligada as operações de câmbio de todos os tipos, desde remessa de dinheiro para o exterior à simples proteção cambial. O índice futuro é um ativo que envolve mais especulação, mas também é muito usado como hedge de uma carteira de ações.

As análises para séries longas de ativos de mercado futuro não são comuns no nosso mercado. Há dificuldade de se obter dados, visto que a maioria dos participantes não olha para um horizonte de mais de dois anos. Além disso, se faz necessário tratar os dados para se obter uma série de preços contínuos, tratamento esse que foi feito para os dados do período em análise.

Os dados do índice futuro foram ajustados por diferença, visto que estes ajustes hoje em períodos de inflação reduzidas substituíram no mercado as séries deflacionadas de outras épocas chegando a resultados muito satisfatórios. O fato de que apenas um vencimento¹⁹ do índice é negociado e tem liquidez, ou seja, negociados significativamente no mercado, também facilita o trabalho com esta série. As séries de preços de fechamento do índice futuro de 01/08/94 a 29/10/99 foram ajustadas de forma que o logaritmo dos retornos, $\ln(P_t / P_{t-1})$, pudessem ser obtidos de forma contínua.

Ao contrário do índice futuro, DII e dólar, que apresentam 6 e até 7 vencimentos em aberto, mas somente 2 ou 3 vencimentos líquidos, tiveram que sofrer ajustes um pouco diferentes para que fossem obtidos os retornos para a série como um todo. A análise se concentrará aos três vencimentos mais próximos, visto que estes são os vencimentos mais líquidos enquanto que os outros 3 ou 4 sofrem com pouca liquidez e poderiam mostrar dados distorcidos. Os dados são de 02/01/98 a 29/10/99 tanto para o DII quanto para o dólar. O retorno do DII tem que ser calculado através do vencimento mais curto e do vencimento mais longo e justamente na data de vencimento do contrato. Ou seja, no dia 1º de cada mês, o retorno deve ser calculado pelo $\ln(P_t \text{ do venc. mais curto} / (P_{t-1} \text{ do venc. subsequente} \times \text{o fator do CDI diário}))$:

$$\text{Retorno} = \ln\left(\frac{P1_t}{P2_{t-1} \times \text{CDI}(\text{fator})}\right) \quad (\text{IV.1})$$

onde, $P1_t$ é o preço do ativo do contrato que está vencendo, $P2_{t-1}$ é o preço do ativo do próximo vencimento e $\text{CDI}(\text{fator})$ é o fator do CDI praticado no mercado.

Sobre o dólar incide o mesmo cálculo, mas não é necessário multiplicar o vencimento longo pelo fator do CDI. Assim teremos uma série contínua de retornos para os ativos negociados para os 3 vencimentos mais líquidos.

¹⁹ Vencimentos são as datas pré-determinadas quando vencem os contratos futuros. No caso do índice, na 2ª quarta-feira dos meses pares do ano e no caso do DII e Dólar, no 1º dia útil de cada mês. Portanto, quando há referência ao primeiro vencimento, está se referindo ao contrato que vence na data mais próxima.

Para o RCTB41 foram utilizados as séries de fechamento do ativo do dia 24/08/94 a 27/10/99, séries estas que geraram os logaritmos dos retornos, necessários para a obtenção do desvio padrão.

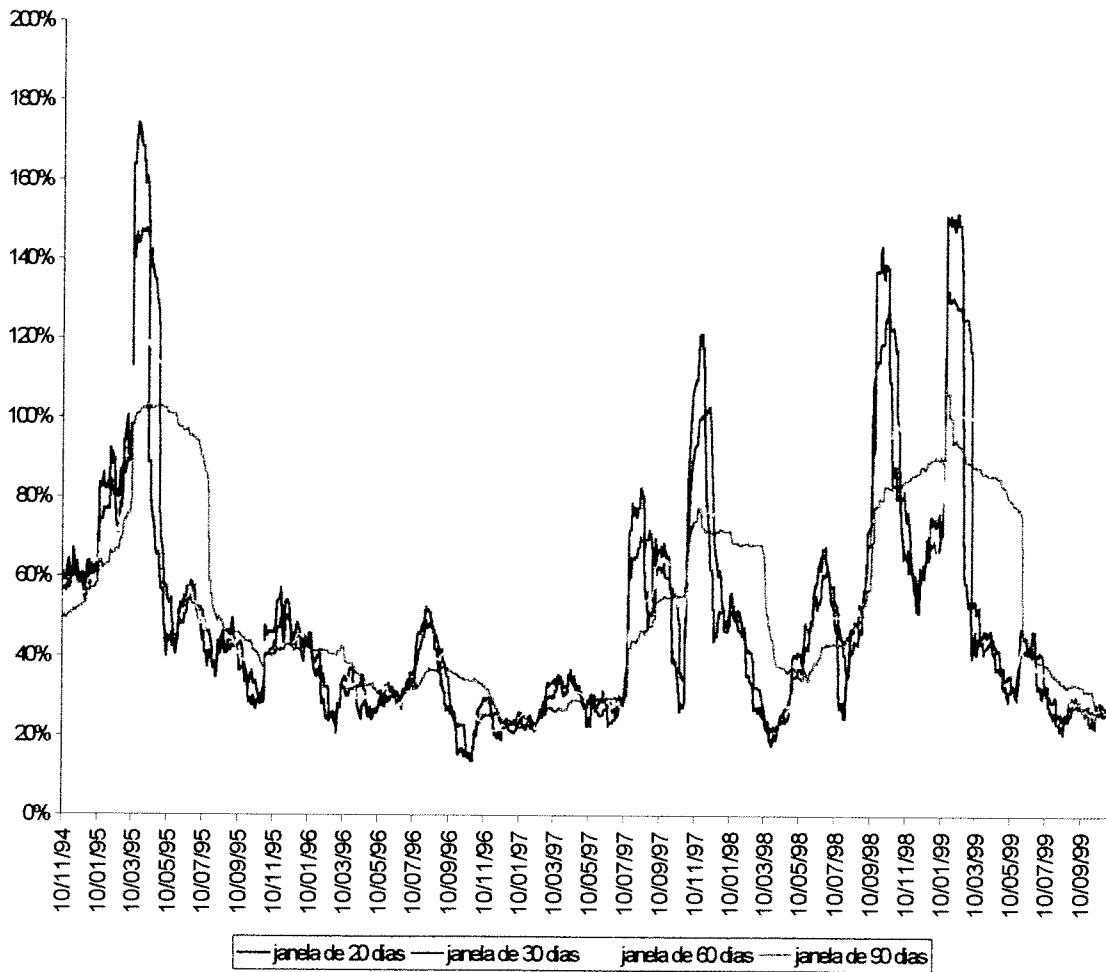
De posse das séries dos retornos pode-se iniciar os cálculos das volatilidades históricas. Essas foram calculadas por três métodos: média móvel, GARCH e média móvel exponencialmente ponderada (EWMA). Esses métodos foram utilizados para todos os ativos, do mercado futuro e à vista, ao longo do estudo.

No primeiro método, média móvel, foram testadas diferentes janelas, ou seja, diferentes números de dias passados nos quais o método iria se basear e calcular o desvio padrão²⁰. Para o caso de mais de um vencimento, como DI1 e dólar, foram usados os dados do 1º vencimento em aberto visto que a liquidez do vencimento foi fator relevante para essa escolha. Podemos verificar que a janela mais adequada é a janela de 20 dias, visto que é um número razoável para que se calcule o desvio padrão (a volatilidade é obtida através da equação II.7) sem perda de precisão e ao mesmo tempo não se baseia em observações excessivamente antigas, gerando desta forma respostas mais rápidas a mudanças recentes. Estas respostas já não podem ser observadas em estimativas com janelas de 60 e 90 dias, que demonstraram em todos os ativos, uma forma mais estável não correspondendo a realidade. Essas conclusões podem ser observadas no gráfico a seguir que mostra as quatro

²⁰ O meio mais adequado para a obtenção de uma janela ótima seria através de testes estatísticos. Contudo, esses testes estão além do objetivo do trabalho. Além disso, os participantes do mercado brasileiro trabalham com janelas da mesma magnitude devido aos constantes choques sofridos pelos ativos.

janelas (20, 30, 60 e 90 dias) para o RCTB41. No caso de ambientes estáveis, o ideal seria tomar séries mais longas. Contudo, a instabilidade no período impede essa prática.

Gráfico 8 – janelas de estimação



O segundo método utilizado foi o método GARCH²¹, conforme seção II.3.3. É importante notar que o modelo GARCH não atribui pesos significativos para observações passadas como mostra a equação II.20, o que faz de sua curva mais sensível a variações, o que pode ser visto no gráfico da seção II.4.

O terceiro método utilizado foi o método de EWMA, conforme visto na seção II.3.2, cuja escolha do peso da primeira observação se faz primordial. Existem métodos estatísticos para a obtenção de um peso ótimo, mas como foi salientado na seção II.3.2, neste estudo será utilizado uma ponderação do que é utilizado pelos participantes do mercado que é 0.8 ou 80%. Esse fator de decaimento faz com que esta estimativa se encontre entre a média móvel e o modelo GARCH (ver gráficos abaixo).

Nos gráficos abaixo, serão apresentadas as estimativas de volatilidade de acordo com os três métodos utilizados para todos os ativos, sendo identificados os pontos de conturbações (crises) que alteraram os padrões observados.

²¹ A estimativa foi obtida através do pacote econométrico Eviews. Foram obtidas as variâncias condicionais a partir dos logaritmos dos retornos.

Gráfico 9 e 10 – estimativas de volatilidade para DI1 e Dólar

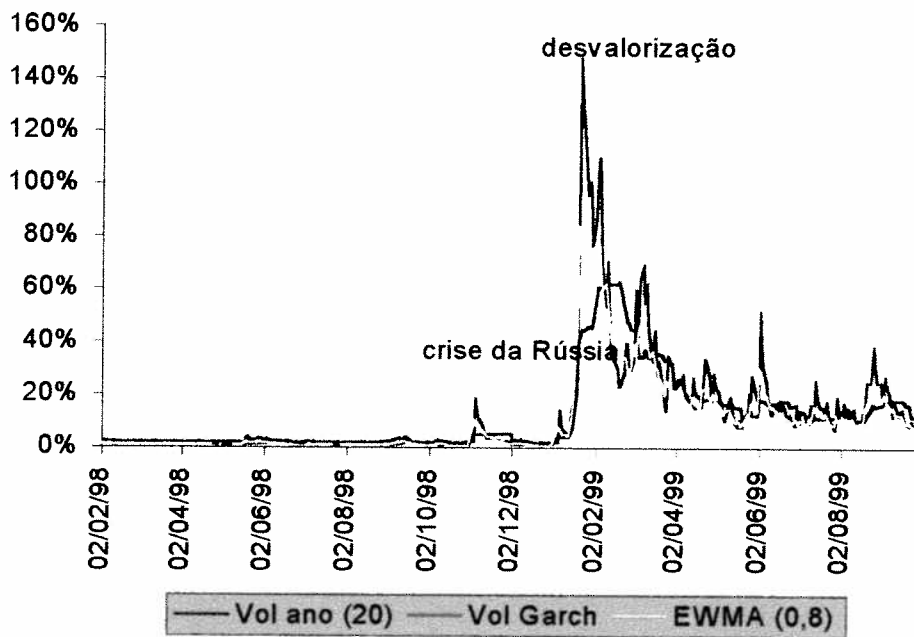
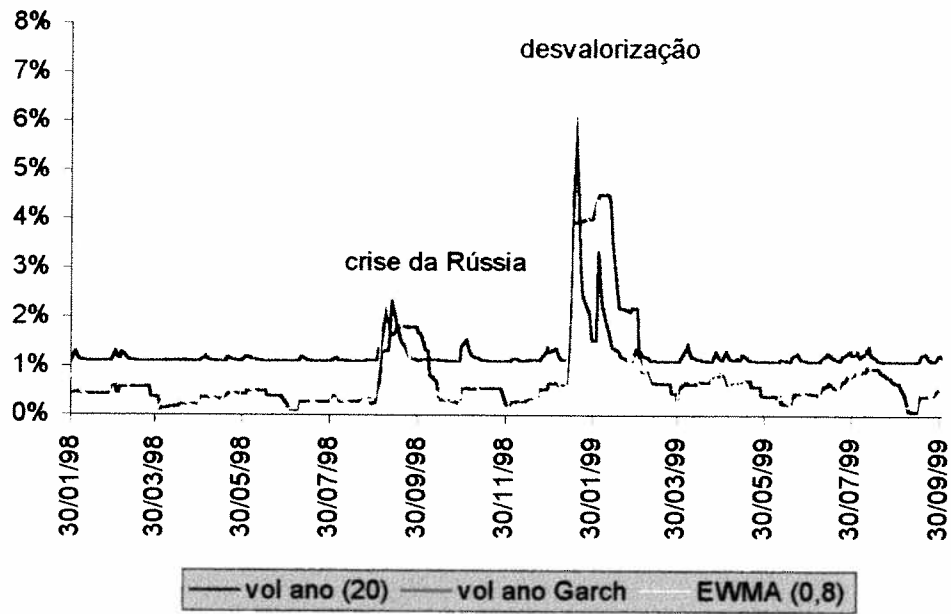


Gráfico 11 – estimativas de volatilidade para Índice

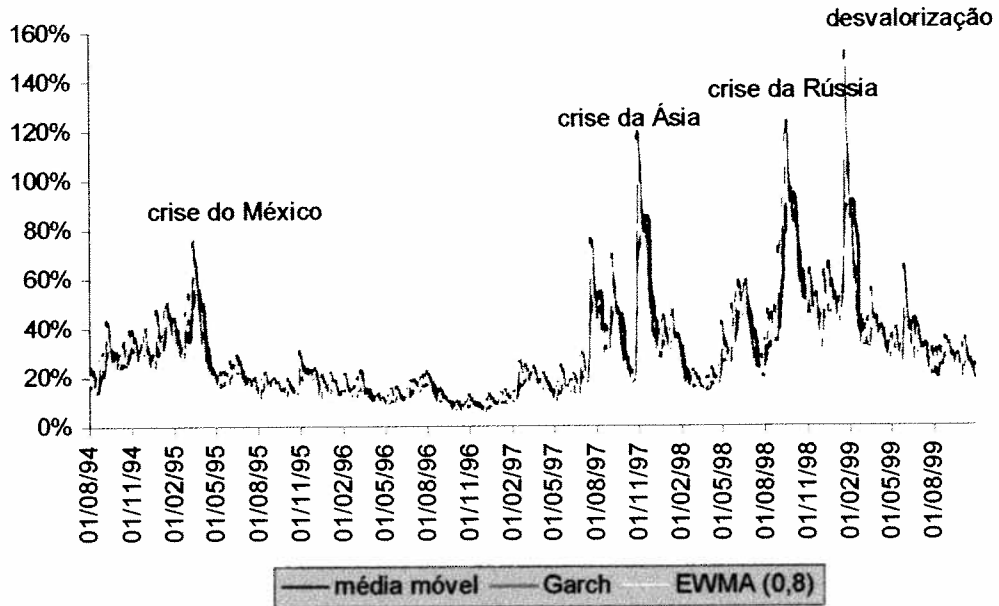
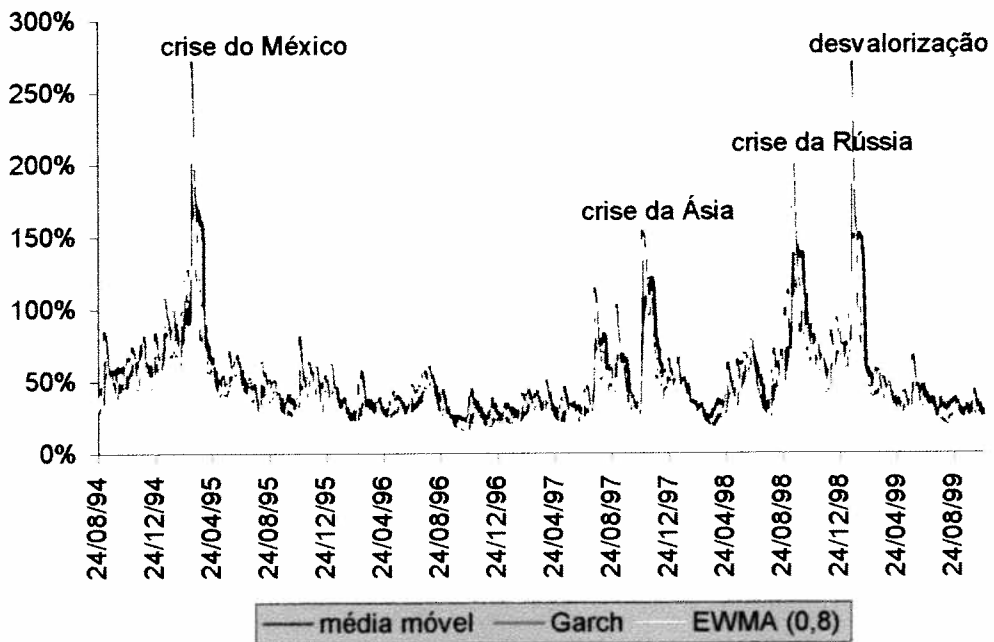


Gráfico 12 – estimativas de volatilidade para RCTB41- cópia



Portanto, conforme foi apresentado no parágrafo anterior, foram plotados os gráficos para o DI1, dólar, índice e RCTB41 (esse último já apresentado no capítulo II). Pode-se perceber, realmente, a maior reação por parte dos métodos GARCH e EWMA em comparação ao método de média móvel.

IV.2.2) A volatilidade no modelo de Black&Scholes

Na seção III.4, determinou-se o conceito e características da volatilidade implícita através do modelo mais utilizado e já abordado, *Black&Scholes*.

O estudo espera analisar o padrão de volatilidade e preços incluindo a crise da Rússia de setembro de 1998 e a desvalorização cambial de janeiro de 1999²². Os dados fornecem os prêmios das séries de opções de compra do RCTB41 dos diversos vencimentos dentro do período citado. Visto isto foram selecionadas as séries mais *no* dinheiro e as que foram exercidas. Assim, pode-se identificar as séries mais líquidas e as que tiveram maior participação dos agentes de mercado, conseqüentemente fornecendo uma melhor expectativa do mercado quanto a volatilidade esperada.

²² Os dados a serem utilizados foram de difícil acesso, mas foram solicitados junto ao banco de dados da BOVESPA, para o período de 02/01/98 a 19/04/99.

De acordo com a equação III.1, a fórmula de Black&Scholes fornece implicitamente as volatilidades, dadas as demais informações sobre juros, tempo, volatilidade histórica e preço de exercício, para os períodos em questão²³.

Além disso, conforme apontado na seção III.2.4 tentou-se comprovar a eficiência do SMILE de volatilidade, ou seja, foram plotados em um gráfico as volatilidades implícitas de um mesmo dia, mas para preços de exercícios diferentes.

Abaixo serão mostrados alguns gráficos de SMILE de volatilidade. Vale lembrar que a evidência do SMILE enfrenta problemas para ser comprovada no mercado brasileiro. Isso se deve ao fato de que poucas são as opções com liquidez no mercado. As opções tem séries de preços de exercício variando de 10 em 10 reais, o que faz com que poucas sejam as opções negociadas. Muitas vezes, somente 3 ou 4 séries tem negócios e esse ponto dificultaria a comprovação do SMILE, visto que os preços podem ser distorcidos dentro dos poucos negócios que acontecerem, ou seja, a volatilidade dessas opções não mostraria o que realmente é esperado pelos agentes.

No gráfico seguinte, já é possível observar os problemas de liquidez, visto que a opção com menor volatilidade é a de maior preço de exercício.

²³ Para isso foi utilizado o suplemento do MS Excel, Options by Ray Steele, que fez os cálculos tanto da volatilidade, quanto dos parâmetros e prêmios das opções. Os dados complementares para o cálculo foram obtidos junto ao banco de dados da ECONOMÁTICA, ou seja, valor do RCTB41 e a taxa de juros (CDI diário). O número de dias úteis foi calculado levando-se em conta os feriados.

Gráfico 13 – SMILE de volatilidade II

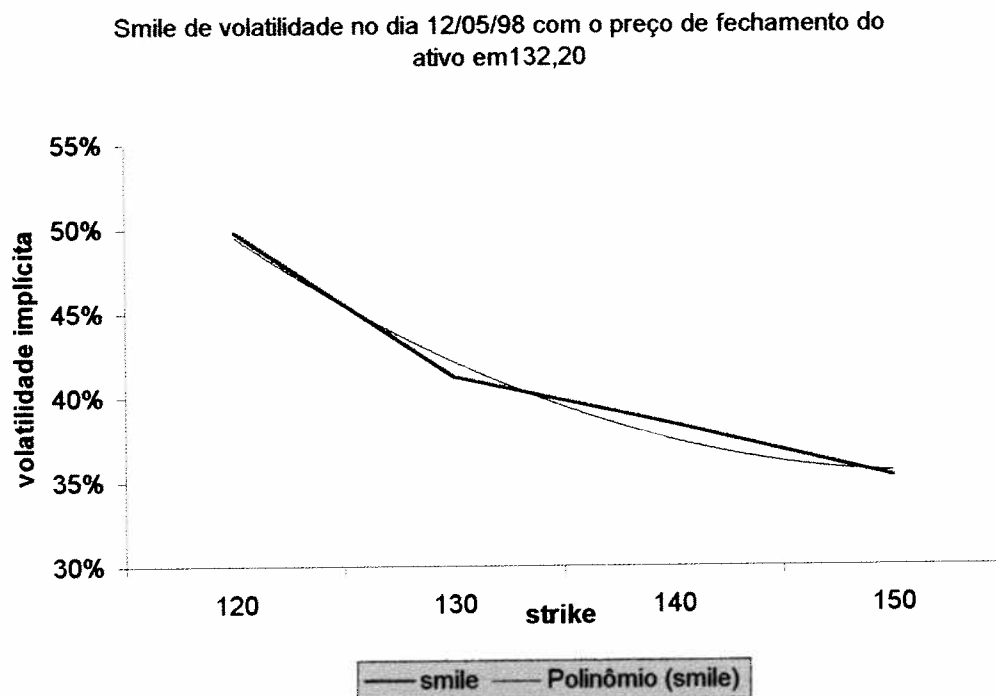
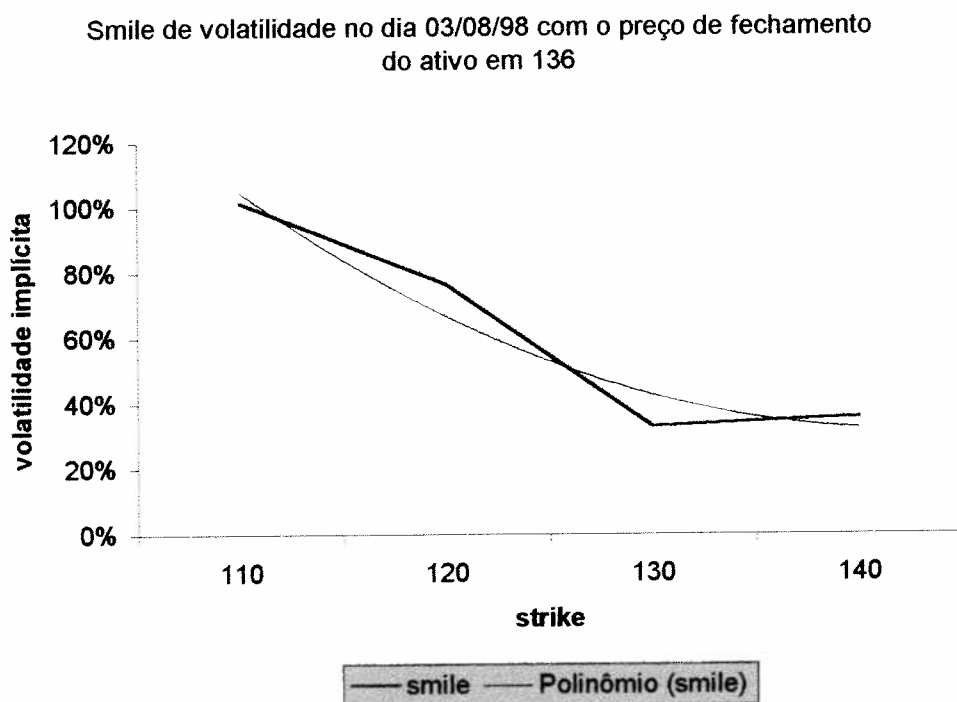


Gráfico 14 – SMILE de volatilidade III



No gráfico acima, cerca de um mês antes da crise da Ásia, o SMILE se comprova, mesmo que não seja possível comprová-lo como um “sorriso completo”, muito provavelmente devido a falta de séries líquidas com preços de exercícios maiores.

Nos gráficos a seguir serão mostrados os SMILES nas crises Russa e na desvalorização cambial.

Gráfico 15 – SMILE de volatilidade IV

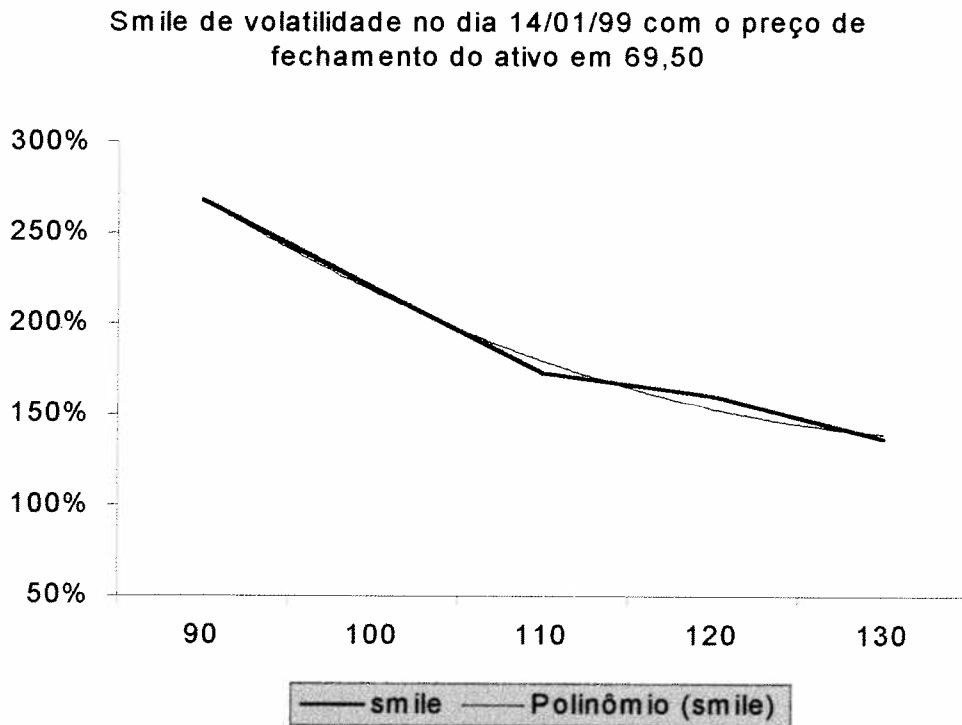


Gráfico 16 – SMILE de volatilidade V

Smile de volatilidade no dia 13/01/99 com o preço de fechamento do ativo em 75,00

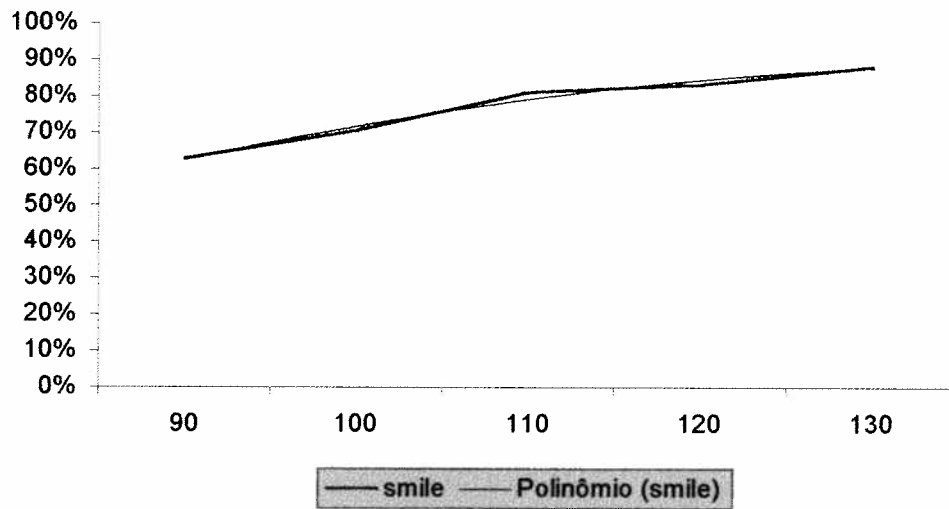
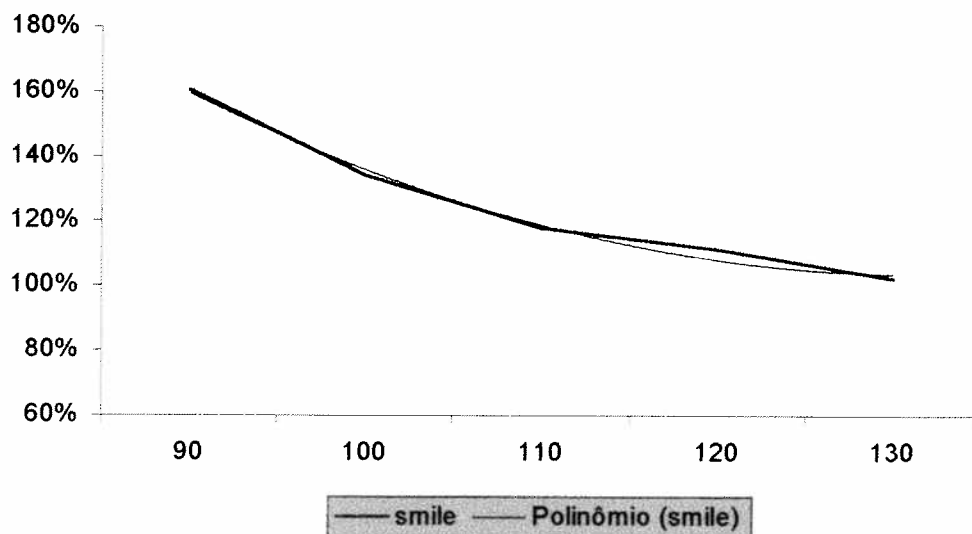


Gráfico 17 – SMILE de volatilidade VI

Smile de volatilidade no dia 15/01/99 com o preço de fechamento do ativo em 99,00



Além da obtenção da expectativa do mercado quanto a volatilidade, também foi obtida uma série dos prêmios das opções com as estimativas de volatilidade apresentadas anteriormente. Utilizando as estimativas de média móvel e a EWMA, foram calculados os prêmios das opções *no* dinheiro e para que com isso pudesse ser feita uma comparação entre o que efetivamente se observou no mercado e o que as estimativas de volatilidade geraram. Mais uma vez, portanto, teremos uma forma de comparar a volatilidade implícita com a histórica.

Os prêmios obtidos pelas estimativas foram maiores que os prêmios praticados no mercado nos períodos de crise. Porém os preços são extremamente parecidos quando se atravessa períodos estáveis. Isso significa dizer que as estimativas superestimam a volatilidade em períodos de crise, mas que em períodos de estabilidade elas se aproximam da volatilidade do mercado. Pode-se fazer esta comparação tanto pelos preços obtidos com as estimativas, como comparando as volatilidades implícitas diretamente. Ou seja, observa-se a volatilidade implícita de uma opção *no* dinheiro e as séries das estimativas de volatilidades para o mesmo período. Desta forma, pode ser feita uma comparação entre a volatilidade histórica e a implícita. Será visto nessa comparação gráfica (no anexo gráfico) que se comprova o resultado obtido com os prêmios calculados pelas estimativas do capítulo II e pelas fórmulas de *Black&Scholes*, do capítulo III, ou seja, em períodos de crise as estimativas de volatilidade não são uma boa representação da volatilidade esperada pelo mercado.

Por fim, foram utilizados os dados das opções citados no início da seção IV.2.2 para cálculo das sensibilidade do modelo, ou seja, as letras gregas: delta, gamma, vega, theta e rho. São feitas também comparações entre o comportamento destes parâmetros nos momentos menos turbulentos do período e nos momentos de crise, como setembro de 1998 e janeiro de 1999.

Pode-se notar que diferente do ocorrido com o SMILE, é fácil comprovar o padrão dos gráficos das sensibilidades para períodos estáveis. Os gráficos do anexo mostram como estes padrão se alterou durante a crise Russa e brasileira, visto que o comportamento das letras gregas foi observado na seção III.2.5.

Nota-se que nas crises ocorre um prolongamento dos gráficos, ou seja, identificando um maior caminho a ser percorrido para que a opção seja exercida. Observa-se que a queda do preço faz com que os prêmios também caiam e que as séries *no* dinheiro fiquem totalmente sem chances de ser exercida. Mas, no caso da desvalorização cambial brasileira, pode-se observar que no momento seguinte a uma queda dos preços, o preço real dos ativos nacionais estava muito baixo o que fez com que os ativos se ajustassem a níveis de preços mais altos depois da desvalorização, fato que não ocorreu na crise Russa. Assim os parâmetros retomam o padrão logo que são refeitos os preços.

Capítulo V – Conclusão

Este trabalho teve como principais objetivos a análise da volatilidade no mercado à vista e futuro, através dos diferentes métodos de estimativas de volatilidade apresentados no capítulo II e o comportamento das opções com o uso do modelo de Black&Scholes para a avaliação do que o mercado esperava dos níveis de volatilidade nestes períodos, através da volatilidade implícita e da evolução dos parâmetros do modelo.

Nota-se que somente na crise do México obtivemos níveis de volatilidades similares aos observados no período da desvalorização. Conforme abordado na seção IV.1, o México era um dos mais importantes países emergentes e tinha particularidades que o Brasil também possuía, como déficit em conta corrente no Balanço de Pagamentos e uma alta dependência do capital externo. Diferente das crises originárias na Ásia, como foi descrito na seção IV.1, onde essas tiveram origens em elementos comuns àqueles países, mas que se alastrou pelos países emergentes do mundo. A desvalorização, embora tenha sido originada internamente apresentou, portanto níveis de volatilidade elevados e nos mesmos patamares dos choques externos. É interessante notar que quando a crise foi originada em outro continente, o país foi atingido de forma mais branda.

A seção IV.2.1 mostrou evidências a respeito das estimativas de volatilidade apresentadas na parte teórica. Ficou evidenciado pelo estudo realizado que os níveis de reação apresentados pelo modelo GARCH e pelo modelo de média móvel exponencialmente ponderada no período da desvalorização e nos outros momentos de crise, foram mais satisfatórios que os encontrados pelo modelo de média móvel, em todos os períodos de crises estudados e para todos os ativos do mercado à vista e futuro.

A partir desta comparação pode ser visto que principalmente nos momentos que se sucedem ao choque, a estimativa GARCH e a de EWMA se apresentam bastante parecidas com a volatilidade implícita visto que estas retornam a níveis mais baixos (a exemplo da volatilidade implícita) um ou dois dias depois do pico enquanto que a média móvel permanece em níveis elevados por mais tempo, superestimando os níveis de volatilidade observados. Este fenômeno pode ser explicado devido ao mesmo peso atribuído a informações passadas que não afetam mais da mesma forma a volatilidade, o que é captado pela janela de 20 dias da média móvel.

Portanto, como foi enfatizado e defendido ao longo deste trabalho, para que se possa obter melhores resultados com estimativas de volatilidade e assim apreçar com maior precisão os derivativos financeiros, temos que usar métodos que repliquem a evidência empírica. O que foi mostrado neste trabalho foi que os métodos mais indicados são os de EWMA e o GARCH. Mesmo assim, conforme seção IV.2.2, ao compararmos com a volatilidade implícita de uma opção *no* dinheiro no momento da desvalorização, todos os métodos fornecem estimativas maiores que as do mercado, ou seja, superestimando a volatilidade apresentada no período, conforme observado na seção.

Dentro dessa ótica e segundo a análise feita na seção IV.2.2, usando os resultados dos prêmios obtidos com as volatilidades estimadas e os preços efetivamente praticados no mercado, pode-se verificar que são possíveis de implantação decisões simples, como por exemplo, comprar a opção subavaliada (que possui volatilidade implícita menor que a histórica) e vender a superavaliada, como descrito no caso das crises (seção IV.2.2). Mas isto não é aconselhável ser feito em um ambiente tão instável no curto prazo, visto que as estimativas não respondem tão rápido a estes movimentos. Pelo modelo de Black&Scholes a arbitragem proposta não seria possível, visto que este é um modelo de equilíbrio. Mas o modelo não retrata o caminho até o equilíbrio, e as oportunidades de arbitragem que aparecem até a restauração do mesmo.

Obviamente, a volatilidade implícita mantém uma relação com a histórica. Na maioria das vezes é esperado que movimentos na volatilidade histórica sejam acompanhados por movimentos semelhantes na volatilidade implícita. Isto se deve ao fato de que um operador ao estimar uma volatilidade histórica maior tende a rever suas expectativas quanto à volatilidade que será praticada no restante da vida da opção. Isto denota o quão é importante se estimar corretamente a volatilidade.

Ao se considerar longos períodos de tempo, a volatilidade histórica deve ser o principal fator a influenciar a volatilidade implícita. Mas no curto prazo, contudo, há outros fatores mais marcantes. Um exemplo pode ser a antecipação de acontecimentos que podem levar a maior volatilidade de determinada ação, como por exemplo, pronunciamentos de autoridades com respeito a políticas e medidas econômicas e outros tipos. Já no caso de

nenhum acontecimento ser antevisto, a incerteza diminui, e a volatilidade implícita pode tomar uma tendência declinante. Por isso, logo após a assimilação de um grande evento, como a desvalorização, a volatilidade implícita cai, pois o mercado pode achar que a instabilidade já passou. Mas no caso da volatilidade histórica isto não necessariamente é verdade.

Se faz necessário, também, comentar as particularidades encontradas no *smile* de volatilidade das opções analisadas na seção IV.2.2. Realmente, nos períodos que não estão envolvidos por incertezas, o *smile* se comprova, ou seja, a opção mais perto do dinheiro mostra níveis de volatilidade mais baixos. Mesmo com pouca liquidez nos contratos muito fora do dinheiro e poucos contratos em aberto, é possível notar a existência desta teoria. Mas nos períodos de crise o *smile* simplesmente não se comprova, as curvas “achatam” e fogem do padrão observado anteriormente. Isto pode ser explicado através da demanda pelas opções, ou seja, em uma opção muito fora do dinheiro a demanda é muito pequena e esta falta de liquidez em um momento de crise faz os negócios girarem sempre em torno de um preço próximo, mas mesmo assim ainda extremamente volátil.

Desta forma, foram apresentadas, através de um estudo sobre volatilidade, as características do período da desvalorização cambial de janeiro de 1999 em comparação com outras crises recentes na economia mundial.

Bibliografia

DUBOFSKY, D.A.; *Options and Financial Futures*; McGraw Hill, N.Y., USA, 1993.

GUJRATI, Damodar N.; *Basic Econometrics*; McGraw Hill, N.Y., USA, 1998.

HAMILTON, James D.; *Time Series Analysis*; Princeton, N.Y., USA, 1995.

HULL, John C.; *Opções, Futuros e Outros Derivativos*; Bolsa de Mercadorias & Futuros, 1997.

JP MORGAN; *Risk MetricsTM: Technical Document*; USA, 1994

LEMGRUBER, Eduardo Facó; *Avaliação de Contratos de Opções*; Bolsa de Mercadorias & Futuros, Edição Revisada e Ampliada, 1995.

COSTA, Cesar Lauro da; *Opções: Operando a Volatilidade*; Bolsa de Mercadorias & Futuros; S.P., 1ª Edição, 1999.

IPEA; *Boletim Conjuntural nº 44*; 1999.

IPEA; *Boletim Conjuntural nº 45*; 1999.

GRÁFICOS

Gráfico 18- Volatilidade implícita x média móvel x Garch x EWMA para opção com vencimento em 19/02/98 e X = 130 (período estável)

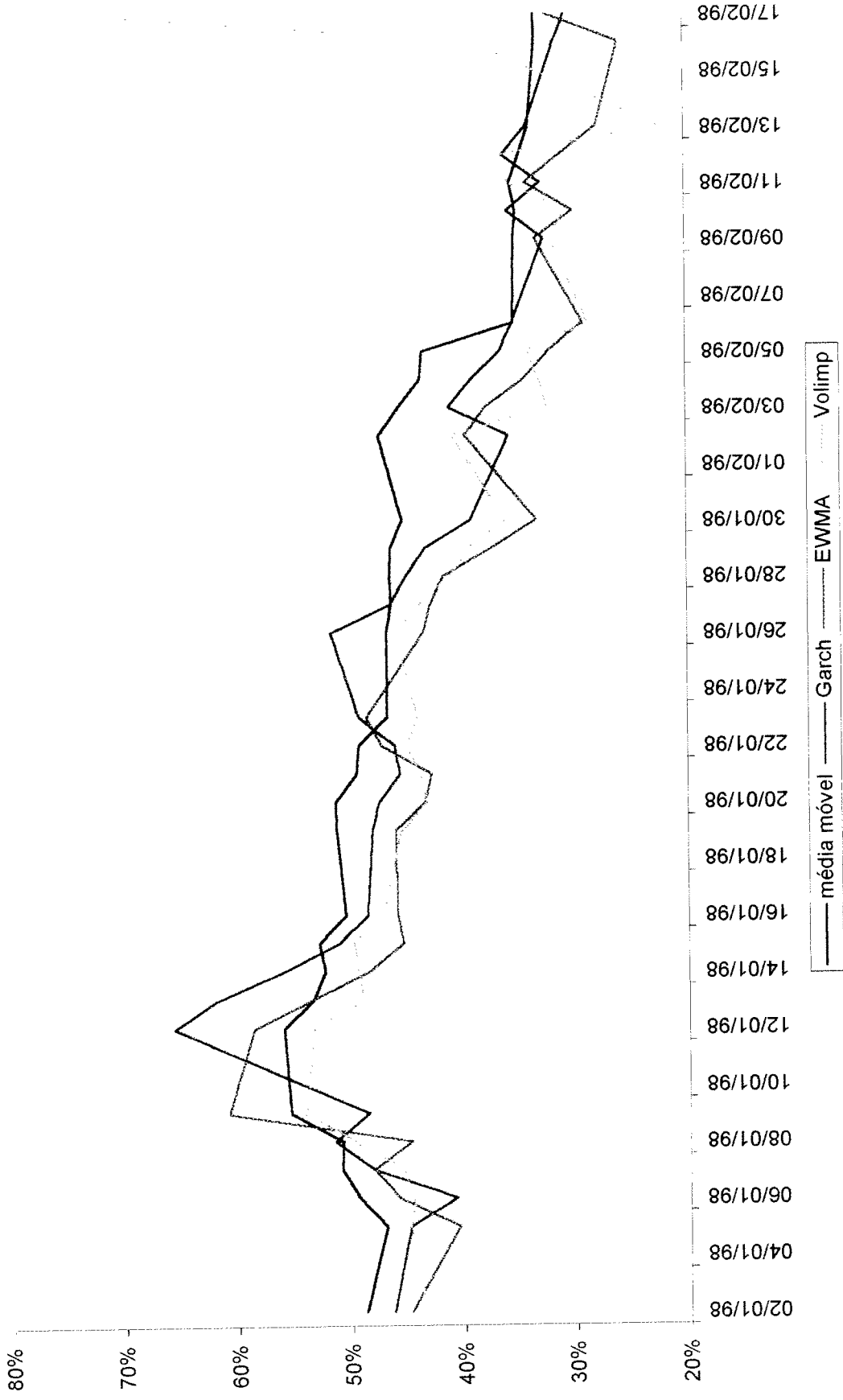


Gráfico 20- Volatilidade implícita x média móvel x GARCH x EWMA para opção com vencimento em 08/02/98 e X = 110 (desvalorização).

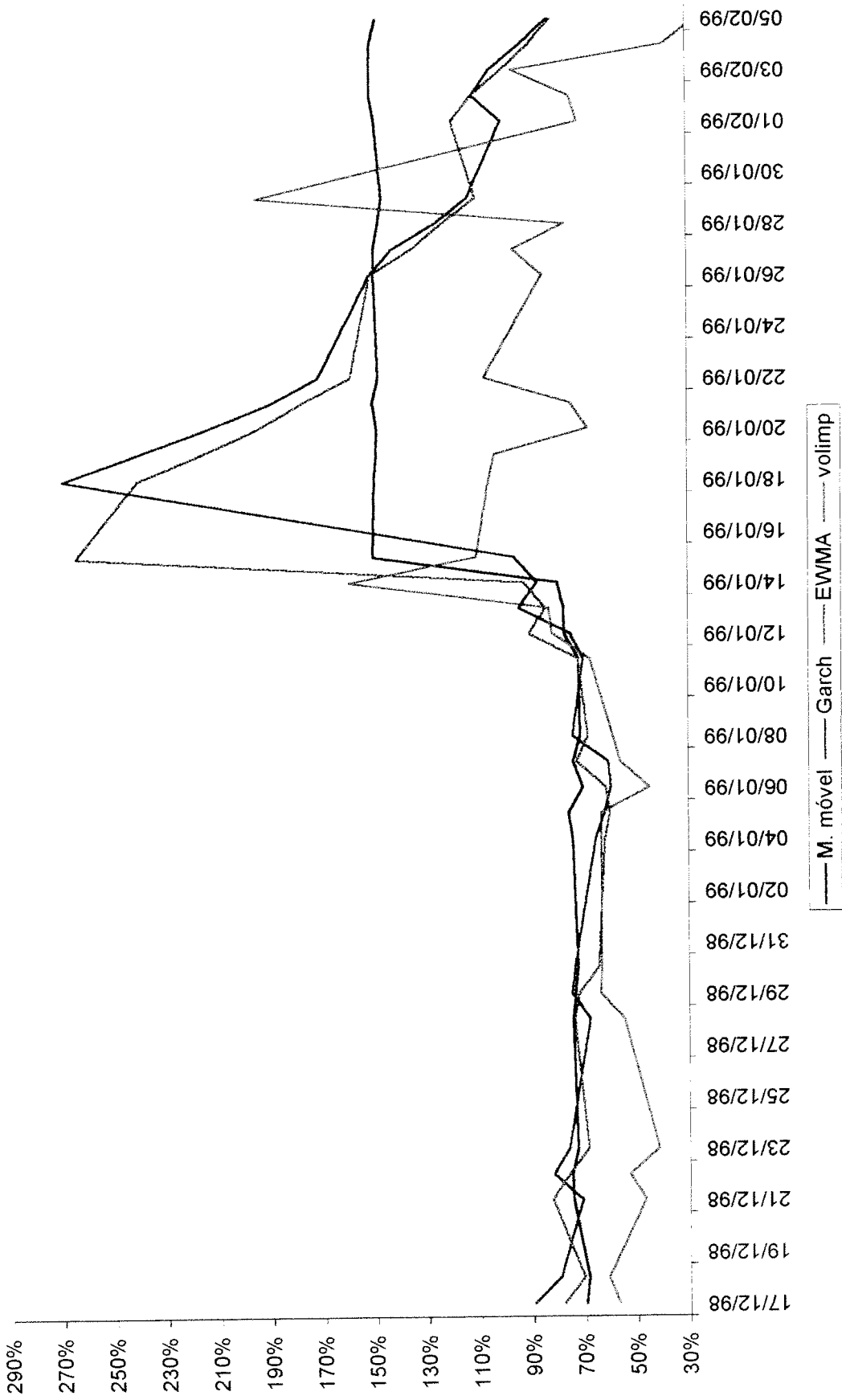


Gráfico 21 - delta na desvalorização

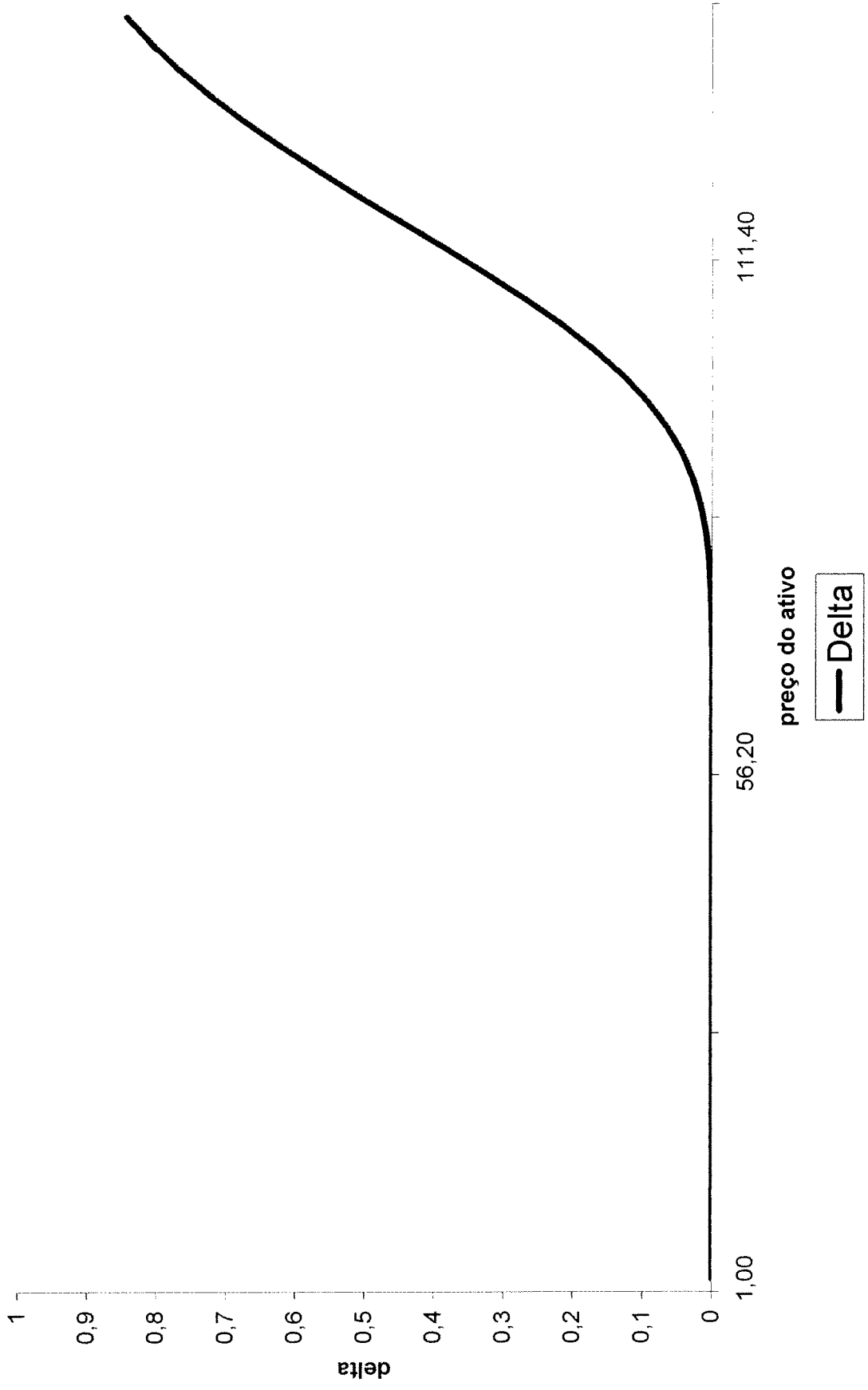


Gráfico 22 - gamma na desvalorização

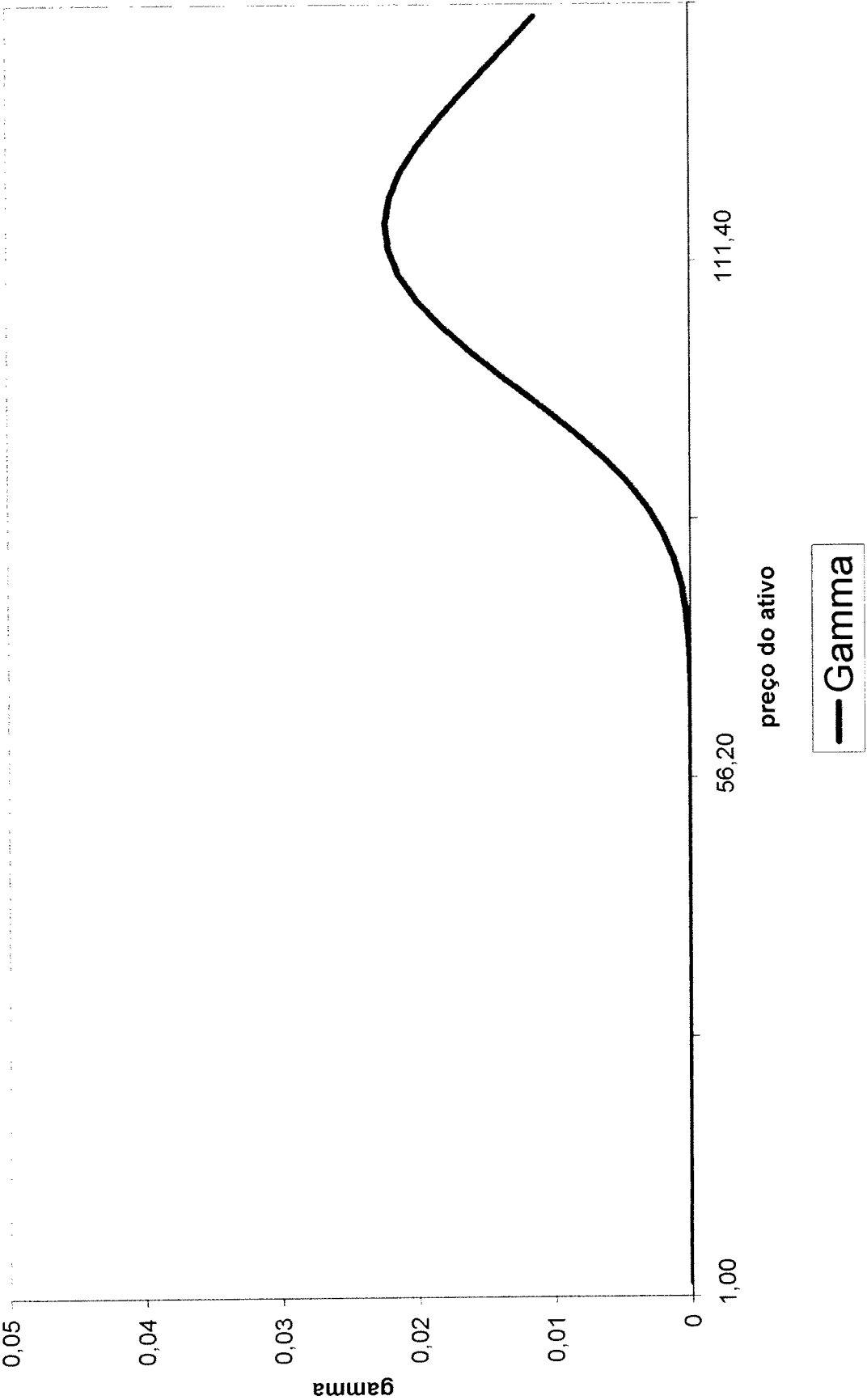


gráfico 23 - theta na desvalorização

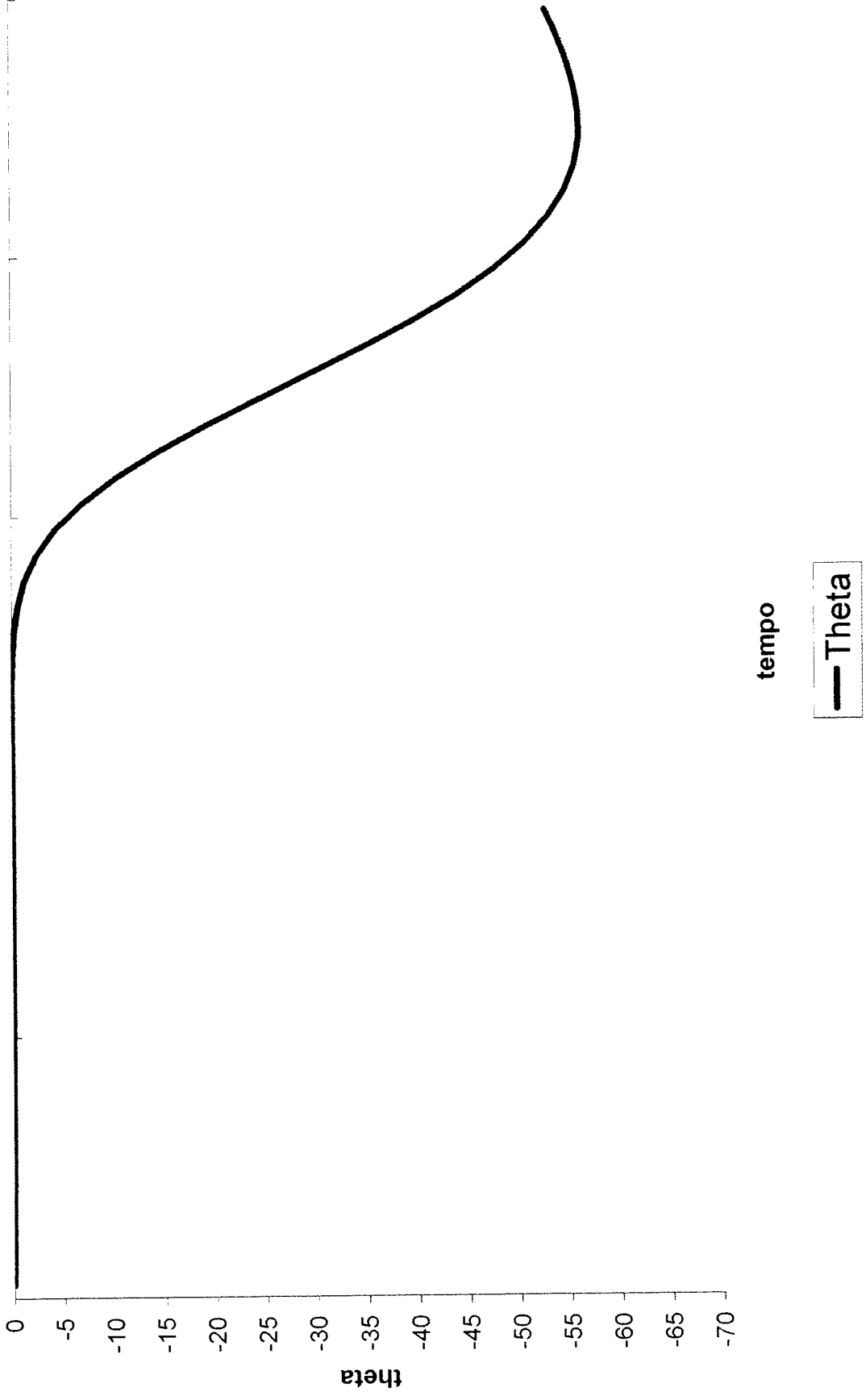


Gráfico 24 - vega na desvalorização

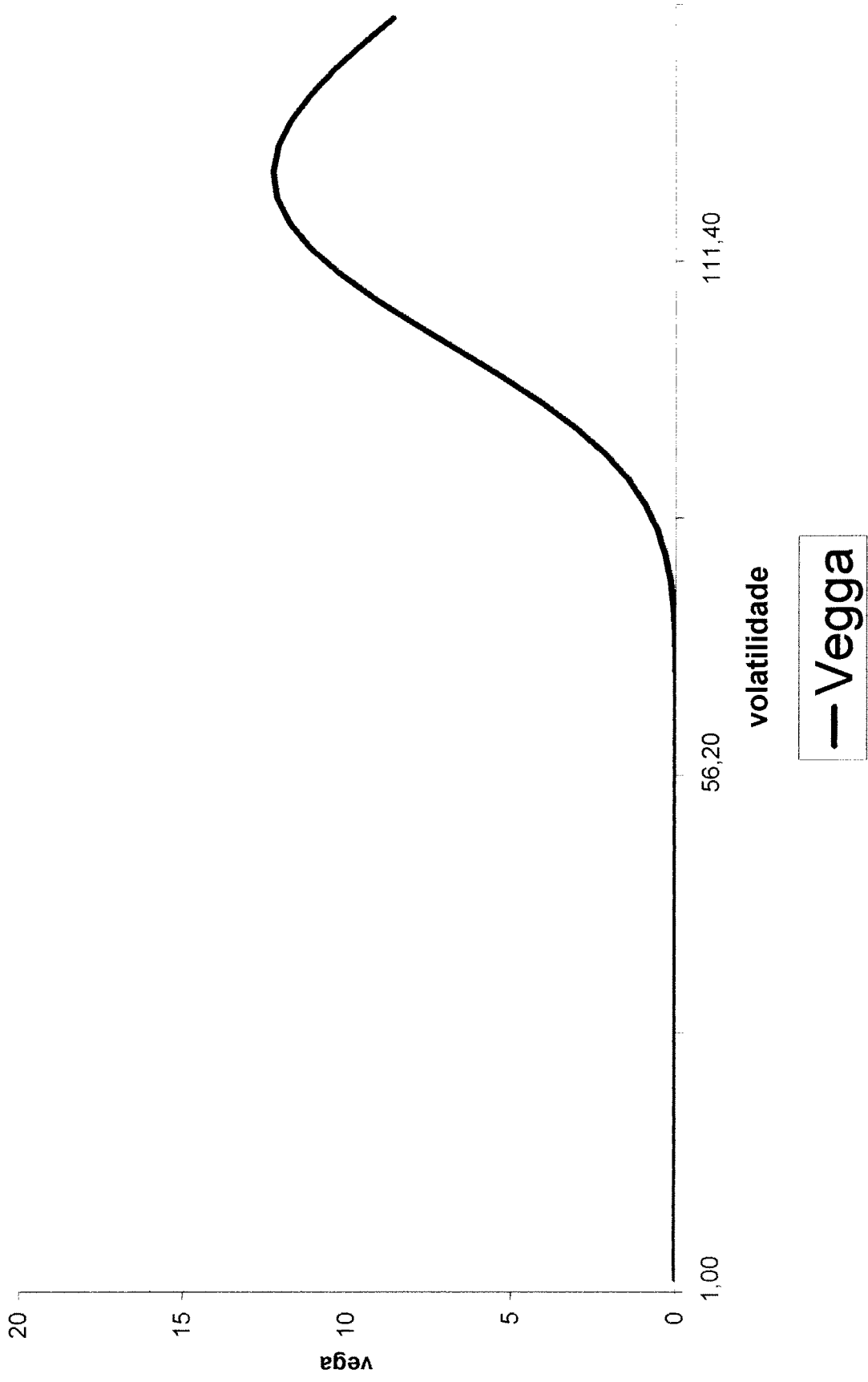


Gráfico 25 - rho na desvalorização

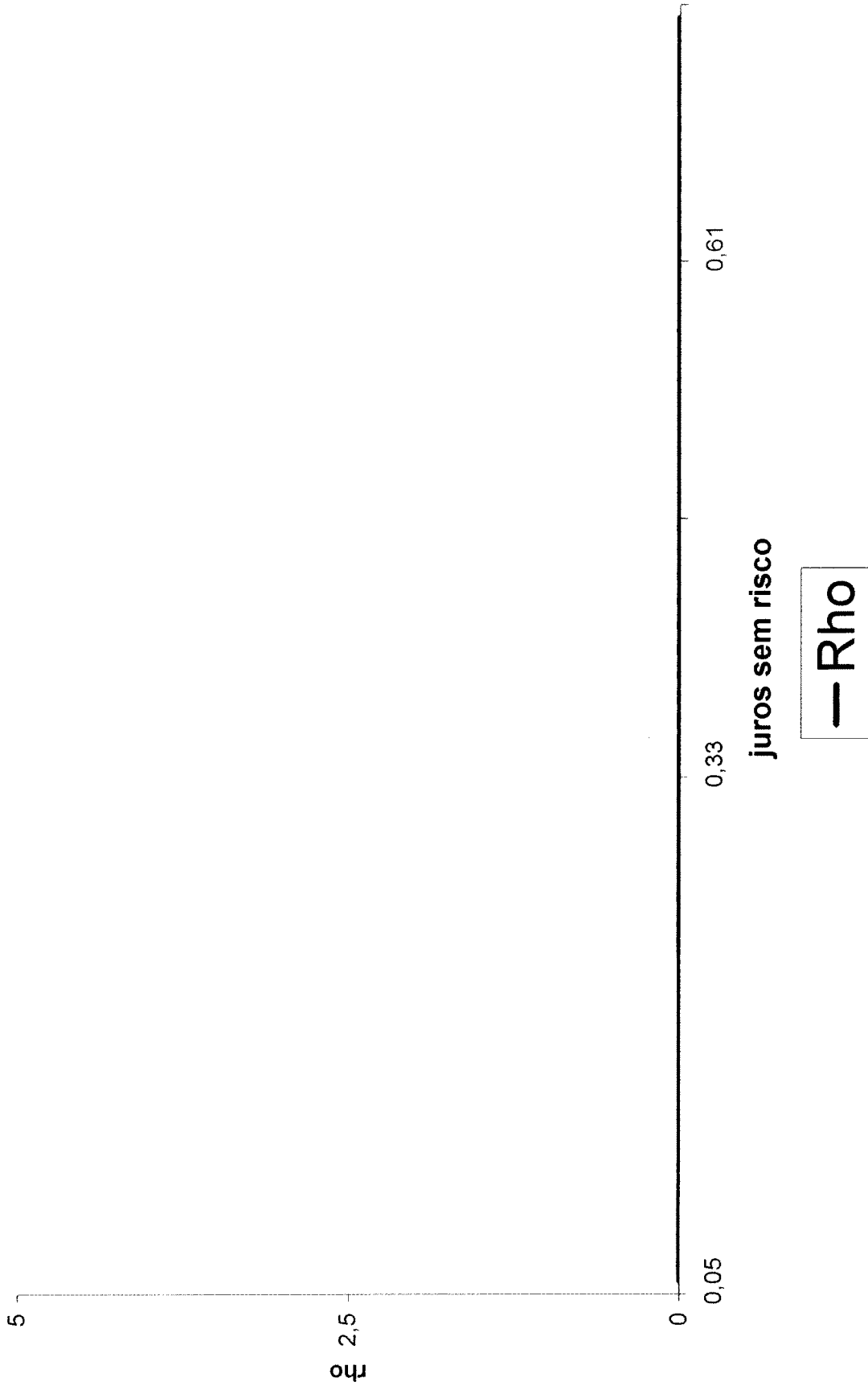


Gráfico 26 - Comparação entre os prêmios praticados no mercado (X=140, vencimento 18/02/98) e com as estimativas de volatilidade média móvel e EWMA (período estável)

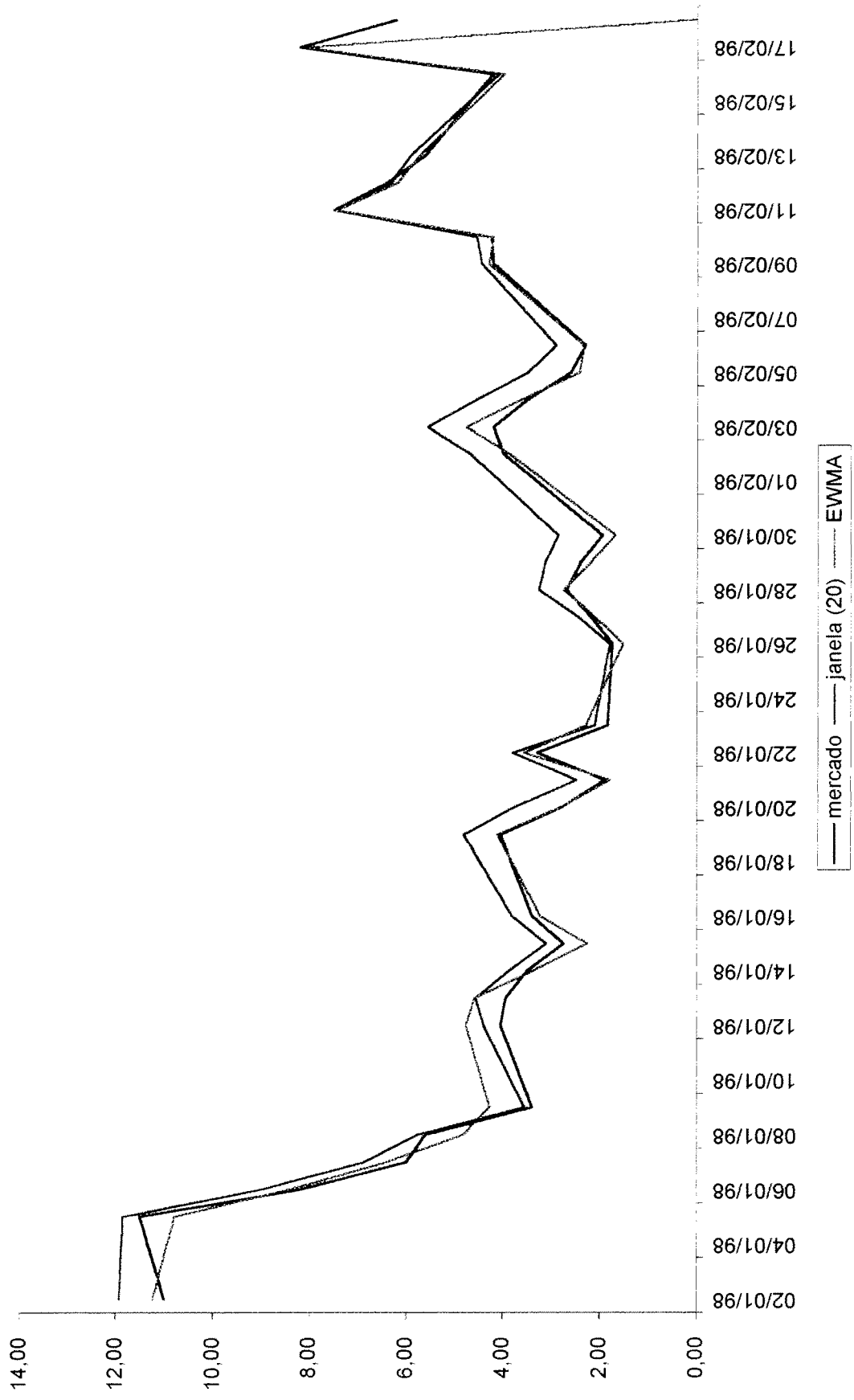


Gráfico 27 - Comparação entre os prêmios praticados no mercado (X=110, vencimento 08/02/99) e com as estimativas de volatilidade média móvel e EWMA (desvalorização)

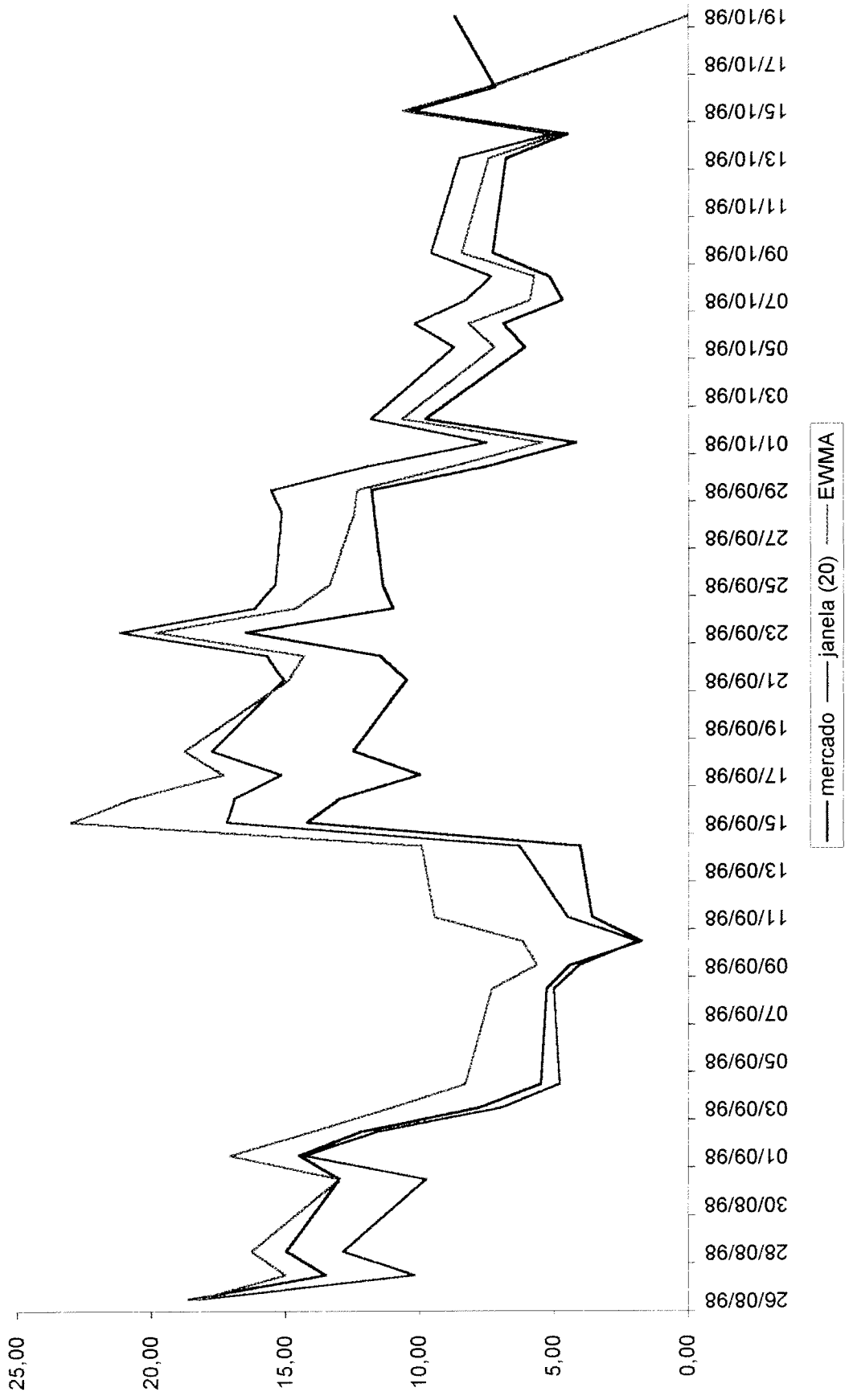


Gráfico 28 - Smile de volatilidade no dia 15/09/98 com o preço de fechamento do ativo em 84,50 (crise da Rússia)

