

---

# Extração de informação de opções cambiais no Brasil

---

Benjamin Miranda Tabak  
Eui Jung Chang

## RESUMO

Neste artigo, extraem-se densidades de probabilidade neutras ao risco da taxa futura de câmbio, a partir de prêmios de opções cambiais negociadas no mercado brasileiro entre 2000 e 2005. Três medidas destacam-se nessa extração: volatilidade, assimetria e curtose implícitas. A volatilidade implícita obtida pode ser utilizada como preditor para a volatilidade futura e a densidade prevista pode ser empregada para analisar a evolução das expectativas do mercado com relação aos preços no mercado financeiro. A assimetria e a curtose implícitas são interpretadas como medidas do sentimento de mercado a respeito da direção dos possíveis movimentos do câmbio e da chance de ocorrência de eventos extremos, respectivamente. Essas medidas podem ser entendidas como indicadores macroprudenciais *forward looking* para o sistema financeiro doméstico. Os resultados obtidos do mercado de opções são ainda comparados com as densidades provenientes da *survey* realizada com economistas de mercado pelo Banco Central do Brasil, concluindo-se que ambos possuem informação relevante. A metodologia empregada neste artigo pode ser generalizada e aplicada a contratos de opções com prazos mais longos e a vários tipos de ativos.

**Palavras-chave:** densidade neutra ao risco, opções cambiais, previsão, construção de cenários, estabilidade financeira.

## 1. INTRODUÇÃO

Preços de opções consistem em uma fonte importante de informação a respeito da distribuição de probabilidades de preços de ativos no futuro. Esses preços podem ser utilizados para construir previsões dos momentos da distribuição de ativos importantes, como câmbio e juros. Essas previsões são de fundamental importância para a construção de cenários, a tomada de decisões de gerenciamento de carteiras e de risco, assim como para a avaliação da estabilidade financeira.

Recebido em 06/abril/2006  
Aprovado em 05/fevereiro/2007

---

*Benjamin Miranda Tabak*, Doutor em Economia pela Universidade de Brasília, é Consultor do Departamento de Pesquisas Econômicas do Banco Central do Brasil (CEP 70074-900 — Brasília/DF, Brasil) e Professor de Finanças do Departamento de Administração da Universidade Católica de Brasília.

E-mail: [benjamin.tabak@bcb.gov.br](mailto:benjamin.tabak@bcb.gov.br)

Endereço:

Banco Central do Brasil

Departamento de Pesquisas Econômicas

SBS — Quadra 3 — Bloco B — Edifício Sede,  
9º andar

70074-900 — Brasília — DF

*Eui Jung Chang*, Doutor em Economia pela Universidade de Brasília, é funcionário do Banco Central do Brasil (CEP 70074-900 — Brasília/DF, Brasil).

E-mail: [eui.jung@bcb.gov.br](mailto:eui.jung@bcb.gov.br)

Neste artigo, utiliza-se uma metodologia de extração de informação de preços de ativos no futuro a partir dos prêmios das opções sobre aqueles ativos. Essa metodologia é aqui aplicada a opções de compra de dólar comercial negociadas na Bolsa de Mercadorias e Futuros de São Paulo (BM&F). As opções são utilizadas para construir previsões de densidade neutra ao risco para o câmbio, no período de 2000 a 2005<sup>(1)</sup>. O objetivo é estudar se essas opções possuem conteúdo informacional sobre os momentos futuros da distribuição de probabilidade do câmbio. Dessa forma, é possível avaliar se o mercado de opções é útil na formação de previsões a respeito das variações futuras no câmbio. Esse é um problema de pesquisa importante que interessa a acadêmicos, instituições financeiras e agentes de mercado, entre outros.

Com o auxílio da mencionada metodologia, é possível avaliar a evolução da incerteza cambial no Brasil nesse período. Ainda, podem-se extrair expectativas de mercado de mudanças de direção nos movimentos de câmbio, assim como de variações extremas nesse ativo financeiro. Os resultados sugerem que a incerteza cambial caiu bastante e manteve-se relativamente constante em 2005. As previsões obtidas de modelos de apreçamento de opções serão comparadas com as obtidas de *surveys* coletadas pelo Banco Central do Brasil. Os resultados sugerem que essas medidas são complementares e podem auxiliar na previsão dos momentos das variações na taxa de câmbio.

Além desta introdução, na seção 2 apresenta-se uma breve revisão da literatura; na seção 3 discute-se a metodologia empregada no artigo; na seção 4, o processo de amostragem é definido. Os resultados empíricos obtidos são apresentados na seção 5. Na seção 6 conclui-se o artigo com as considerações finais e as sugestões de pesquisas futuras.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

A construção de previsões de densidade neutra ao risco de variáveis aleatórias como taxas de câmbio, taxas de juros e índices de ações, entre outros, é extremamente útil para gerentes de carteira, gerentes de risco, reguladores financeiros e acadêmicos de forma geral.

O mercado de opções tem sido bastante utilizado para extrair informação das expectativas de mercado com respeito às densidades de ativos financeiros no futuro. Essas previsões, extraídas de opções, são *forward looking* e podem ser utilizadas para acompanhar a evolução do sentimento de mercado ao longo do tempo.

Diferentes métodos têm sido utilizados pelos pesquisadores para fazer as previsões de densidade. Esses métodos podem ser classificados em paramétricos e não-paramétricos. Os métodos paramétricos são baseados em distribuições conhecidas, que são misturadas e expandidas com relação à distribuição normal. Os métodos paramétricos incluem as distribuições univariadas, como a função Beta generalizada (APARICIO e

HODGES, 1998), a distribuição Lambda generalizada (CORRADO, 2001), a distribuição *Generalized Extreme Value* (GEV) (MARKOSE e ALERTON, 2005) e as misturas de distribuições univariadas (MELICK e THOMAS, 1997).

Os métodos não-paramétricos não requerem uma forma funcional e permitem o uso de funções mais gerais. Eles incluem estimações Kernel (AIT-SAHALIA e LO, 1998), máxima entropia (BUCHEN e KELLY, 1996) e métodos de ajustes de curvas (SHIMKO, 1993)<sup>(2)</sup>.

A vantagem dos métodos não-paramétricos consiste em sua maior flexibilidade. Contudo, utilizando-se métodos paramétricos, pode-se obter a densidade completa, enquanto, com métodos não-paramétricos, obtém-se apenas a densidade truncada, para os preços de exercício disponíveis.

Recentemente, alguns pesquisadores têm estudado a relação entre densidades neutras ao risco e densidades do mundo real, que têm embutidas as preferências por risco do mercado. Bliss e Panigirtzoglou (2004) e Anagnou-Basioudis *et al.* (2005) estudaram métodos para transformar densidades neutras ao risco em densidades de mundo real.

O caso brasileiro de opções de compra dólar-real foi estudado por Chang e Tabak (2002). Os autores mostram que é possível extrair informação a respeito da trajetória do câmbio do mercado de opções e apresentam densidades bimodais para 2002. Ainda, Andrade e Tabak (2001) mostram que a volatilidade implícita tem conteúdo informacional relevante que não está presente em modelos de séries temporais, como os modelos Garch (1,1).

Devido às maiores flexibilidade e simplicidade, neste artigo as densidades neutras ao risco serão obtidas por meio de um método não-paramétrico, que será descrito em detalhes na próxima seção.

## 3. METODOLOGIA

Suponha-se que os preços de um ativo  $\{S_t\}$  sigam um movimento geométrico browniano, representado pela equação:

$$dS = \mu S dt + \sigma S dW \quad [1]$$

em que:

$\mu$  e  $\sigma$  correspondem, respectivamente, ao retorno esperado e à volatilidade do preço do ativo;  
 $\{W_t\}$  é um processo de Wiener.

Black e Scholes (1973) mostraram que o preço de uma opção europeia de compra é dado por:

$$C = SN(d_1) - Xe^{-r\tau}N(d_2) \quad [2]$$

com:  $d_1 = \frac{\log(S/X) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)\tau}{\sigma\sqrt{\tau}}$  e  $d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{\tau}$

em que:

- $X$  = preço de exercício;  
 $T$  = tempo até o vencimento da opção;  
 $R$  = taxa de juros livre de risco;  
 $N(d_i)$  = função distribuição normal padrão acumulada até o limite  $d_i$ , em que  $i = 1$  e  $2$ .

Todas as variáveis necessárias para calcular o preço de uma opção são observáveis com exceção da volatilidade  $\sigma$ . Dessa forma, os preços observados e praticados no mercado revelam um valor para  $\sigma$ , que faz com que os preços de mercado e o preço da fórmula de Black e Scholes (1973) sejam iguais. Esse valor para a volatilidade é uma previsão do mercado para a volatilidade do ativo subjacente da opção. Vale ressaltar que essa previsão, conhecida como volatilidade implícita, é uma previsão *forward looking* em contraposição a modelos *backward looking* como os da família Garch.

Um dos problemas de utilizar a equação [2] para precificar opções de dólar-real está no fato de que os horários de fechamento do mercado de dólar à vista e da BM&F podem diferir, o que geraria problemas para a construção das volatilidades implícitas. Dessa forma, é preferível utilizar o preço futuro de dólar, também negociado na BM&F, cuja negociação se encerra no mesmo horário das opções. Assim, evitam-se problemas devido à falta de sincronicidade entre os preços de fechamento usados para precificar as opções, o que poderia induzir erros de medida.

Utilizou-se o modelo de Garman e Kohlhagen (1983) de avaliação de opções cambiais, aplicando a fórmula de arbitragem de custo de carregamento que relaciona os preços futuros aos preços à vista, para evitar problemas de sincronicidade. Dessa forma, a volatilidade implícita ( $\sigma_i$ ) foi calculada usando a equação a seguir:

$$C = e^{-r\tau} [F N(d_1) - XN(d_2)] \quad [3]$$

com: 
$$d_1 = \frac{\log(F/X) + \left(\frac{1}{2}\sigma^2\right)\tau}{\sigma\sqrt{\tau}} \quad \text{e} \quad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{\tau}$$

em que:

- $C$  = preço da opção;  
 $X$  = preço de exercício;  
 $\tau$  = número de dias até o vencimento;  
 $r$  = taxa de juros livre de risco;  
 $F$  = preço de ajuste do contrato futuro de dólar-real que vence em  $\tau$  dias;  
 $N(\cdot)$  = distribuição acumulada normal padrão.

Breeden e Litzenberger (1978) derivaram uma relação exata entre o preço de opções européias e a distribuição de probabilidade neutra ao risco do ativo subjacente:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial X^2} = e^{-r\tau} Q(S_T) \quad [4]$$

A equação [4] mostra que a segunda derivada do preço de uma opção européia de compra ( $C$ ) com respeito ao preço de exercício ( $X$ ) é igual ao valor descontado, à taxa de juros livre de risco, da distribuição neutra ao risco  $Q$  do preço do ativo subjacente no vencimento ( $S_T$ ).

Shimko (1993) utiliza a fórmula de apreçamento de Black e Scholes (1973) para obter volatilidades implícitas para diferentes preços de exercício. O autor ajusta, então, uma função de volatilidade contínua utilizada para obter uma função de apreçamento de opções contínua. Finalmente, utilizando o resultado de Breeden e Litzenberger (1978), uma função de densidade de probabilidade é obtida.

Neste trabalho, o modelo da equação [3] foi utilizado para obter as volatilidades implícitas do câmbio a partir dos prêmios das opções cambiais negociadas no mercado brasileiro. Uma curva *smile* de volatilidades implícitas foi então construída com base no método de Shimko (1993). O resultado de Breeden e Litzenberger (1978) da equação [4] foi usado para obter densidades de probabilidade neutras ao risco do câmbio nas datas de vencimento das opções. Essas densidades permitiram o cálculo dos coeficientes implícitos de volatilidade, assimetria e curtose. Na próxima seção, discutem-se os dados usados no trabalho e o processo de amostragem.

#### 4. DADOS E AMOSTRAGEM

Todos os dados relativos à precificação das opções e construção de densidades neutras ao risco utilizados neste trabalho foram fornecidos pela BM&F de São Paulo.

O grau de precisão das densidades neutras ao risco estimadas depende da qualidade das informações dos preços de opções utilizados como insumo no processo de estimação. Dessa forma, buscou-se trabalhar com as opções mais negociadas.

As opções de compra dólar-real de um mês da BM&F são do tipo europeu e vencem no primeiro dia útil do mês seguinte ao do seu lançamento. As opções com prazos de vencimento maiores não possuem a liquidez necessária para estimar densidades neutras ao risco. Portanto, o estudo limita-se à previsão de densidades em um horizonte de um mês.

Os dados iniciam-se em janeiro de 2000 e terminam em dezembro de 2005, com 72 vencimentos e 216 contratos de opções. Para cada mês, foram selecionadas as três opções mais próximas do dinheiro, considerando os preços de ajustamento do mercado futuro de dólar-real<sup>(3)</sup>. Em geral, essas opções são as mais negociadas no mercado, tendo maior liquidez.

Como já mencionado, um outro objetivo do trabalho consiste em comparar os momentos implícitos de opções com a *survey* realizada pelo Banco Central do Brasil com economistas de diversas instituições financeiras. O Banco Central do Brasil coleta diariamente as expectativas de mercado para a evolução

das principais variáveis macroeconômicas. Nessa *survey*, a expectativa para a evolução da taxa de câmbio é coletada. No presente trabalho, serão utilizadas as expectativas um mês à frente, para efeito de comparação com os momentos implícitos obtidos a partir das opções negociadas no mercado.

No próximo tópico são apresentados os resultados obtidos para a extração de densidades neutras ao risco e comparados com as previsões da *survey* coletadas pelo Banco Central do Brasil.

## 5. RESULTADOS EMPÍRICOS

### 5.1. Densidades neutras ao risco

Para a amostra utilizada, os resultados deste estudo mostram que as distribuições implícitas em opções são **leptocúrticas** (caudas pesadas) e **positivamente assimétricas**. A tabela 1 contém os resultados para a volatilidade, a assimetria e a curtose implícitas. Como se pode ver, em 90,3% dos meses a

Tabela 1

#### Previsão de Volatilidade, Assimetria e Curtose um Mês à Frente Usando Opções Dólar-Real

Período	Volatilidade Implícita $\sigma_i$	Assimetria Implícita $SK_i$	Curtose Implícita $K_i$	Período	Volatilidade Implícita $\sigma_i$	Assimetria Implícita $SK_i$	Curtose Implícita $K_i$
Jan-2000	0,061	0,514	3,126	Jan-2003	0,213	0,483	3,525
Fev-2000	0,069	0,508	3,715	Fev-2003	0,338	0,880	2,822
Mar-2000	0,034	0,293	3,431	Mar-2003	0,125	0,538	4,169
Abr-2000	0,046	0,001	4,641	Abr-2003	0,155	0,482	4,035
Mai-2000	0,053	0,215	3,197	Mai-2003	0,121	1,138	6,000
Jun-2000	0,043	0,272	3,129	Jun-2003	0,146	0,168	3,045
Jul-2000	0,060	0,548	2,643	Jul-2003	0,140	0,398	3,317
Ago-2000	0,063	0,614	2,783	Ago-2003	0,064	1,388	6,762
Set-2000	0,023	0,895	3,672	Set-2003	0,157	0,096	3,230
Out-2000	0,030	1,528	7,408	Out-2003	0,102	0,262	4,316
Nov-2000	0,081	-0,002	3,315	Nov-2003	0,067	0,171	3,099
Dez-2000	0,052	0,969	4,412	Dez-2003	0,070	0,293	3,106
Jan-2001	0,039	0,281	3,844	Jan-2004	0,075	0,615	4,869
Fev-2001	0,049	0,343	4,030	Fev-2004	0,107	0,136	3,031
Mar-2001	0,045	0,487	5,041	Mar-2004	0,080	0,356	3,900
Abr-2001	0,065	0,371	3,754	Abr-2004	0,062	0,341	3,726
Mai-2001	0,086	0,764	4,039	Mai-2004	0,092	0,069	2,989
Jun-2001	0,096	0,387	3,908	Jun-2004	0,173	0,930	4,821
Jul-2001	0,170	1,206	4,187	Jul-2004	0,108	1,350	5,160
Ago-2001	0,268	0,727	3,189	Ago-2004	0,101	0,547	4,112
Set-2001	0,174	0,011	2,474	Set-2004	0,070	0,866	4,331
Out-2001	0,157	0,272	3,160	Out-2004	0,063	0,215	3,319
Nov-2001	0,149	0,118	4,375	Nov-2004	0,077	0,338	3,200
Dez-2001	0,090	0,372	3,698	Dez-2004	0,083	0,117	3,031
Jan-2002	0,105	0,647	4,666	Jan-2005	0,113	0,670	3,260
Fev-2002	0,113	0,521	4,941	Fev-2005	0,110	0,955	3,404
Mar-2002	0,134	1,304	4,222	Mar-2005	0,105	0,552	4,811
Abr-2002	0,114	0,436	3,004	Abr-2005	0,115	0,344	3,102
Mai-2002	0,074	1,115	4,893	Mai-2005	0,139	0,626	3,299
Jun-2002	0,185	0,124	2,728	Jun-2005	0,086	0,808	4,921
Jul-2002	0,344	0,106	2,608	Jul-2005	0,081	0,147	3,025
Ago-2002	0,310	1,133	4,634	Ago-2005	0,091	0,261	3,494
Set-2002	0,256	0,573	4,912	Set-2005	0,087	0,398	3,826
Out-2002	0,475	0,783	3,421	Out-2005	0,079	0,165	3,040
Nov-2002	0,258	0,387	3,697	Nov-2005	0,097	0,202	3,984
Dez-2002	0,293	0,843	4,660	Dez-2005	0,080	0,902	5,079

curtose excede 3 (valor da curtose para a distribuição normal), indicando caudas pesadas para a distribuição de probabilidades<sup>(4)</sup>. Os gráficos com as densidades, de 2000 a 2005, encontram-se no apêndice. É possível verificar que, em vários casos, as densidades são bimodais e o formato das curvas mudam bastante ao longo do tempo.

A volatilidade implícita ( $\sigma_i$ ) é uma previsão da volatilidade futura do preço do ativo subjacente à opção. Dessa forma, mudanças nessa variável indicam alterações na percepção de incerteza do mercado a respeito dos níveis de preços futuros. O gráfico 1 apresenta a evolução da volatilidade implícita um mês à frente. A média de  $\sigma_i$  para o período de janeiro de 2000 a dezembro de 2002 foi de 13%, contra 11% para o período de

janeiro de 2003 a dezembro de 2005. Vale ressaltar que os momentos de altas volatilidade e incerteza registrados no final de 2002 não foram observados na amostra mais recente. O pico de volatilidade ocorreu em outubro de 2002 (47,5%), caindo para 29,3% em dezembro de 2002, em função da incerteza gerada pelo processo eleitoral.

A assimetria implícita ( $SK_i$ ), assimetria da densidade neutra ao risco, provê informação útil, pois é uma medida da direção prevista pelos agentes no mercado dos movimentos na taxa de câmbio. Uma  $SK_i$  positiva indica que o mercado atribui maior probabilidade a movimentos de alta na taxa de câmbio.

O gráfico 2 apresenta a evolução da assimetria implícita ao longo do período amostral. Os resultados sugerem que as

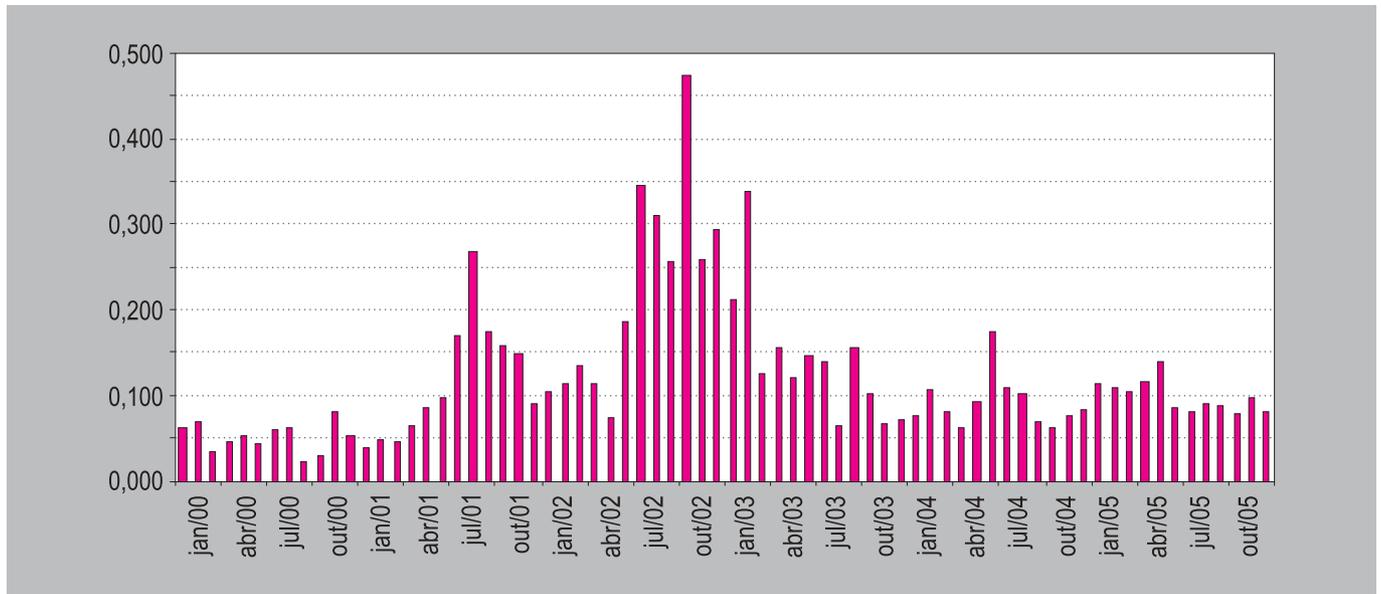


Gráfico 1: Volatilidade Implícita

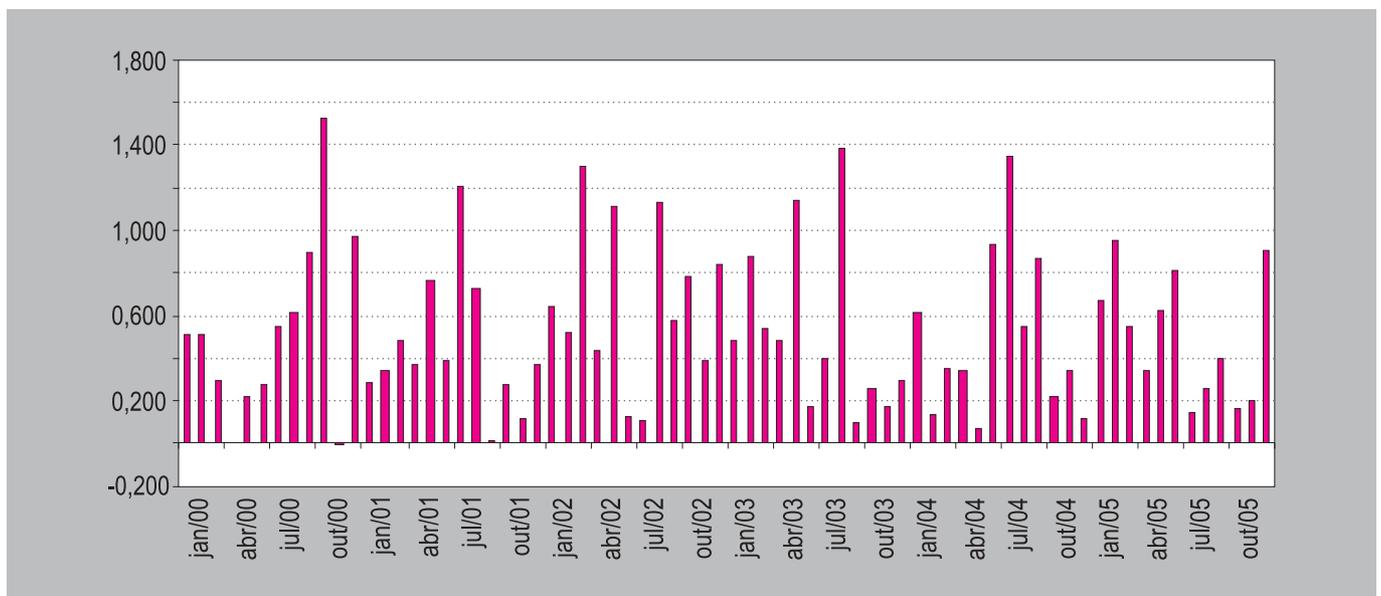


Gráfico 2: Assimetria Implícita

expectativas foram consistentemente de movimentos de altas nas taxas de câmbio. É interessante notar que esse fenômeno ocorre mesmo para os períodos em que a taxa de câmbio sofreu forte valorização. A assimetria média no período de janeiro de 2000 a dezembro de 2002 foi de 0,55, enquanto no período posterior foi de 0,51. No segundo período são observados dois picos, agosto de 2003 e julho de 2004, 1,387 e 1,35, respectivamente.

### **A volatilidade, a assimetria e a curtose implícitas em opções de câmbio podem ser utilizadas como indicadores forward looking de estabilidade financeira.**

A curtose implícita ( $K_i$ ) provê uma medida do sentimento de mercado das chances de ocorrência de eventos extremos, pois mede o tamanho das caudas da densidade neutra ao risco. Uma  $K_i$  acima de 3 indica que o mercado atribui uma probabilidade mais alta a eventos extremos do que o implícito em uma distribuição normal. Dessa forma, aumentos nessa variável estão relacionados a expectativas de eventos extremos.

O gráfico 3 apresenta a evolução do excesso de curtose implícita ( $K_i - 3$ ) de janeiro de 2000 a dezembro de 2005. Na média, a curtose permaneceu praticamente inalterada nos dois subperíodos analisados, 3,88 entre janeiro de 2000 e dezembro de 2002 e 3,87 entre janeiro de 2003 e dezembro de 2005. O forte pico em agosto de 2003, em conjunto com os dados de assimetria, sugere que o mercado esperava forte desvalorização da moeda doméstica.

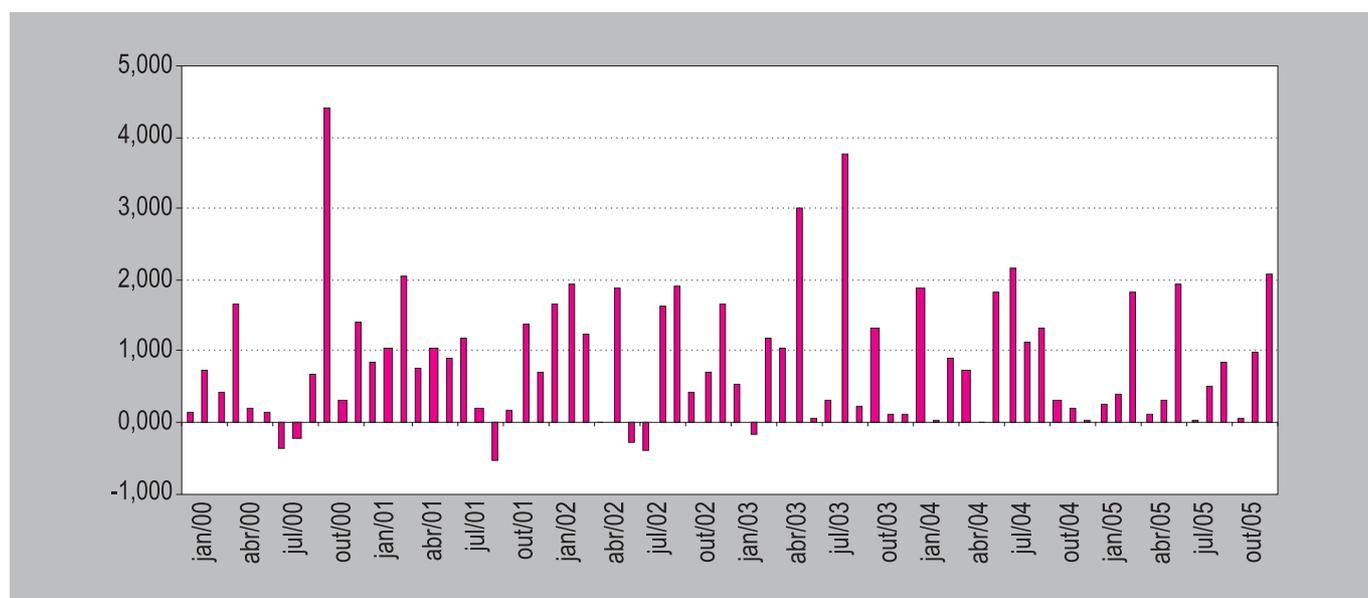
## **5.2. Densidades extraídas da survey do Banco Central do Brasil**

Na tabela 2 são apresentados os resultados da *survey* realizada pelo Banco Central com instituições financeiras. Marques, Fachada e Cavalcant (2003) apresentam uma discussão de como esses dados são coletados.

Para comparar os resultados da tabela 1 com os da tabela 2, calcularam-se a correlação não-paramétrica de Spearman para a volatilidade, a assimetria e a curtose. A correlação de Spearman entre a volatilidade implícita e o desvio-padrão das previsões obtidas na *survey* é de 66,43% e estatisticamente significativa ao nível de 1%<sup>(5)</sup>. Dessa forma, o aumento da incerteza capturado usando as densidades neutras ao risco também é percebido pelo aumento do desvio-padrão das estimativas da *survey*. Contudo, a correlação não-paramétrica entre as assimetrias e curtoses implícitas não é estatisticamente significativa: 10,35% e -0,9%, respectivamente. Esse último fato sugere que pode existir conteúdo informacional adicional nas densidades obtidas pela *survey*<sup>(6)</sup>.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste artigo, utilizou-se uma metodologia para extrair informação a respeito de movimentos futuros da taxa de câmbio a partir de opções sobre esse ativo. É possível construir previsões da incerteza com relação a movimentos na taxa de câmbio (volatilidade implícita), da direção esperada desses movimentos (assimetria implícita) e da probabilidade de mudanças acentuadas na taxa de câmbio (curtose implícita). Essa informação é resumida pela densidade neutra ao risco obtida de opções cambiais para variados preços de exercício. Essa me-



**Gráfico 3: Excesso de Curtose (Implícita)**

**Tabela 2**  
**Momentos Implícitos na Survey — Previsões um Mês à Frente**

Período	Dpi	SKi	Ki	n	Período	Dpi	SKi	Ki	n
Jan-2002	0,035	1,802	7,879	58	Jan-2004	0,019	0,086	4,361	61
Fev-2002	0,022	-0,535	3,357	57	Fev-2004	0,019	0,869	3,738	61
Mar-2002	0,017	0,363	4,041	55	Mar-2004	0,013	-0,261	3,924	60
Abr-2002	0,020	0,583	3,800	60	Abr-2004	0,011	-0,393	3,595	61
Mai-2002	0,018	0,357	3,588	60	Mai-2004	0,013	0,028	5,876	63
Jun-2002	0,024	-0,395	3,220	59	Jun-2004	0,024	-0,929	3,882	64
Jul-2002	0,049	-1,117	4,182	56	Jul-2004	0,014	0,096	3,301	65
Ago-2002	0,083	0,745	2,505	59	Ago-2004	0,014	0,482	4,273	61
Set-2002	0,061	0,881	4,609	65	Set-2004	0,018	0,732	3,585	63
Out-2002	0,105	0,380	3,750	60	Out-2004	0,023	1,117	4,617	66
Nov-2002	0,061	-0,354	5,287	56	Nov-2004	0,014	1,450	6,078	64
Dez-2002	0,046	-0,004	2,791	71	Dez-2004	0,021	0,220	3,067	66
Jan-2003	0,041	-0,024	4,403	60	Jan-2005	0,025	0,679	3,393	63
Feb-2003	0,049	-0,156	2,508	64	Feb-2005	0,021	0,950	5,390	64
Mar-2003	0,038	-0,759	5,430	64	Mar-2005	0,023	0,137	5,133	64
Abr-2003	0,029	0,145	3,103	61	Abr-2005	0,019	0,040	3,190	62
Mai-2003	0,064	0,234	2,671	63	Mai-2005	0,024	0,612	2,944	63
Jun-2003	0,035	0,095	6,006	67	Jun-2005	0,030	0,444	2,836	63
Jul-2003	0,037	0,664	3,156	66	Jul-2005	0,025	0,600	3,256	65
Ago-2003	0,022	0,722	3,887	68	Ago-2005	0,019	0,212	4,507	61
Set-2003	0,021	1,408	7,301	66	Set-2005	0,021	1,291	7,211	64
Out-2003	0,020	1,369	6,687	67	Out-2005	0,032	0,093	3,305	67
Nov-2003	0,016	0,351	4,012	67	Nov-2005	0,021	-0,242	3,794	60
Dez-2003	0,016	1,453	7,585	69	Dez-2005	0,028	0,835	5,646	68

metodologia pode ser estendida a opções de prazos mais longos e a outros ativos.

A volatilidade, a assimetria e a curtose implícitas em opções de câmbio podem ser utilizadas como indicadores *forward looking* de estabilidade financeira. Aumentos expressivos na volatilidade implícita podem indicar um aumento da incerteza com respeito à trajetória da taxa de câmbio, enquanto aumentos de curtose, aumento na probabilidade de variações acentuadas nessa variável. Dessa forma, elevações nessas variáveis podem sinalizar uma elevação da vulnerabilidade dos agentes que têm exposição cambial. Ainda, assimetria positiva sugere que os agentes esperam valorização na taxa de câmbio.

Essas informações podem ser utilizadas na construção de testes de estresse, auxiliando o processo de geração de cenários e de avaliação dos efeitos de choques adversos sobre o sistema bancário.

As densidades obtidas usando a *survey* realizada pelo Banco Central do Brasil, com relação à expectativa de evolução

da taxa de câmbio, contém informação adicional que pode ser utilizada para aferir as expectativas de mercado. Dessa forma, a *survey* realizada pelo Banco Central do Brasil traz informação importante que pode ser utilizada em conjunto com outras informações, como as obtidas do mercado de opções, para a construção de cenários.

Os próximos passos de pesquisa consistem em comparar os resultados obtidos com outros modelos de previsão, como a classe de modelos Garch, estender a metodologia para outros ativos financeiros, como juros e índices de ações, e, finalmente, implementar outras metodologias paramétricas e não-paramétricas para realizar comparação e avaliação delas.

Pode-se concluir que a construção de densidades neutras ao risco pode ser útil para construir cenários para a trajetória da taxa de câmbio no Brasil. Ainda, a utilização conjunta de métodos de extração de densidade de opções e informação de *surveys* coletadas pelo Banco Central do Brasil também é recomendada para efetuar previsões dos momentos da taxa de câmbio. ♦

## NOTAS

- (1) Em um mercado livre de arbitragem, cada ativo é caracterizado por duas densidades de probabilidade: a densidade de probabilidade dos retornos históricos e a densidade neutra ao risco usada para a avaliação de opções sobre esse ativo.
- (2) Ver ainda, Diebold, Gunther e Tay (1998), Jackwerth e Rubinstein (1996) e Malz (1997).
- (3) As opções mais próximas do dinheiro são aquelas cujos preços de exercício estão mais próximos dos preços à vista, negociados no mercado. Essas opções são, em geral, as de maior liquidez no mercado de opções e, dessa forma, traduzem melhor as expectativas dos agentes.
- (4) Diz-se que a cauda de uma distribuição é pesada quando a massa de probabilidade nos extremos da distribuição é maior do que seria observado no caso da distribuição normal. Dessa forma, a probabilidade de ocorrência de eventos extremos (observações nas caudas) é maior do que seria esperado se a distribuição de probabilidades fosse a normal.
- (5) A hipótese nula é, nesse caso, que a correlação é igual a zero. Assim, pode-se rejeitar que a correlação seja igual a zero ao nível de significância de 1%.
- (6) A comparação entre densidades neutras ao risco e densidades extraídas de uma *survey* das expectativas dos agentes de mercado deve levar em conta que essas últimas embutem as diferentes preferências de risco dos agentes (no mundo real, os agentes não são neutros ao risco). A falta de correlação significativa para a assimetria e a curtose dos dois tipos de densidade poderia estar relacionada a isso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIT-SAHALIA, Y.; LO, A. Nonparametric estimation of state-price densities in financial asset prices. *Journal of Finance*, Estados Unidos, v.53, n.2, p.499-547, Apr. 1998.
- ANAGNOU-BASIOUDIS, I.; BEBENDO, M.; HODGES, S.D.; TOMPKINS, R. Forecasting accuracy of implied and GARCH-based probability density functions. *Review of Futures Markets*, Estados Unidos, v.14, n.1, p.41-56, 2005.
- ANDRADE, S.C.; TABAK, B.M. Is it worth tracking dollar/real exchange rate volatility? *Revista de Economia Aplicada*, São Paulo, v.5, n.3, p.471-489, jul./set. 2001.
- APARICIO, S.D.; HODGES, S.D. *Implied risk-neutral distribution: a comparison of estimation methods*. Working Paper. Inglaterra: University of Warwick, 1998.
- BLACK, F.; SCHOLES, M. The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, Estados Unidos, v.81, n.3, p.637-659, May/June 1973.
- BLISS, R.; PANIGIRTZOGLU, N. Option-Implied Risk Aversion Estimates. *Journal of Finance*, Estados Unidos, v.59, n.1, p.407-446, Feb. 2004.
- BREEDEN, D.; LITZENBERGER, R. Prices of state-contingent claims implicit in options prices. *Journal of Business*, Estados Unidos, v.51, n.4, p.621-651, Oct. 1978.
- BUCHEN, P.W.; KELLY, M. The maximum entropy distribution of an asset inferred from option prices. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, Estados Unidos, v.31, n.1, p.143-159, Mar. 1996.
- CHANG, E.J.; TABAK, B.M. Densidades de probabilidade neutras ao risco. *Relatório de Estabilidade Financeira*, Brasília, Banco Central do Brasil, v.1, n.1, p.131-140, 2002.
- CORRADO, C.J. Option pricing based on the generalized lambda distribution. *Journal of Futures Markets*, Estados Unidos, v.21, n.3, p.213-236, Mar. 2001.
- DIEBOLD, F.X.; GUNTHER, T.A.; TAY, A.S. Evaluating density forecasts with applications to financial risk management. *International Economic Review*, Estados Unidos, v.39, n.4, p.863-883, Nov. 1998.
- GARMAN, M.B.; KOHLHAGEN, S. Foreign currency option values. *Journal of International Money and Finance*, Estados Unidos, v.2, n.3, p.231-238, Dec. 1983.
- JACKWERTH, C.J.; RUBINSTEIN, R. Recovering probability distributions. *Journal of Finance*, Estados Unidos, v.51, n.5, p.1611-1631, Dec. 1996.
- MALZ, A.M. Estimating the probability distribution of the future exchange rate from option prices. *The Journal of Derivatives*, Estados Unidos, v.4, p.18-36, Winter 1997.
- MARKOSE, S.; ALERTON, A. *The generalized extreme value (GEV) distribution, implied tail index and option pricing*. Working Paper. Inglaterra: University of Essex, 2005.
- MARQUES, A.B.C.; FACHADA, P.; CAVALCANT, D. Banco Central e expectativas de mercado. *Notas Técnicas do Banco Central do Brasil*, Brasília, v.36, jun. 2003.
- MELICK, W.R.; THOMAS, C.P. Recovering an asset's implied PDF from option prices: an application to crude oil during the Gulf crisis. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, Estados Unidos, v.32, n.1, p.91-115, Mar. 1997.
- SHIMKO, D. Bounds of probability. *Risk*, v.6, n.4, p.33-37, Apr. 1993.

ABSTRACT

### Extracting information from exchange rate options in Brazil

In this paper we extract risk neutral density probabilities for the Brazilian domestic exchange rate, from exchange rate options negotiated in the Brazilian market between 2000 and 2005. The focus is on implied volatility, skewness and kurtosis. Implied volatility and the forecasted density can be used to evaluate market expectations regarding the future evolution of exchange rate in the financial market. Implied skewness and kurtosis can be interpreted as measures of sentiment regarding the direction of changes and the occurrence of extreme events, respectively. These measures can be seen as forward-looking macroprudential indicators for the domestic financial system. The results obtained from the options market are compared with the density from surveys conducted with market economists by the Central Bank of Brazil, as we conclude that both expectations contain relevant information. The methodology of this paper can be generalized and applied to longer-term contracts and to different types of assets.

**Uniterms:** risk neutral density, exchange rate options, forecasting, scenarios, financial stability.

RESUMEN

### Obtención de información de opciones cambiarias en Brasil

En este trabajo, se obtienen densidades de probabilidad neutrales al riesgo del tipo de cambio futuro, a partir de premios de opciones cambiarias negociadas en el mercado brasileño entre 2000 y 2005. Se utilizan tres medidas: la volatilidad, la asimetría y la curtosis implícitas. La volatilidad implícita obtenida se puede utilizar para prever la volatilidad futura y la densidad prevista se puede emplear en el análisis de la evolución de las expectativas del mercado con relación a los precios en el mercado financiero. La asimetría y la curtosis implícitas son interpretadas como medidas del sentimiento de mercado respecto a la dirección de los posibles movimientos de cambio y de la ocurrencia de eventos extremos, respectivamente. Estas medidas pueden ser entendidas como indicadores macroprudenciales *forward looking* para el sistema financiero doméstico. Los resultados obtenidos del mercado de opciones se comparan con las densidades oriundas de los *surveys* realizados con economistas de mercado por el Banco Central de Brasil, y se concluye que ambos poseen información relevante. La metodología empleada puede ser generalizada y aplicada a contratos de opciones con plazos más largos y a otros activos.

**Palabras clave:** densidad neutral al riesgo, opciones de tipo de cambio, previsión, escenarios, estabilidad financiera.



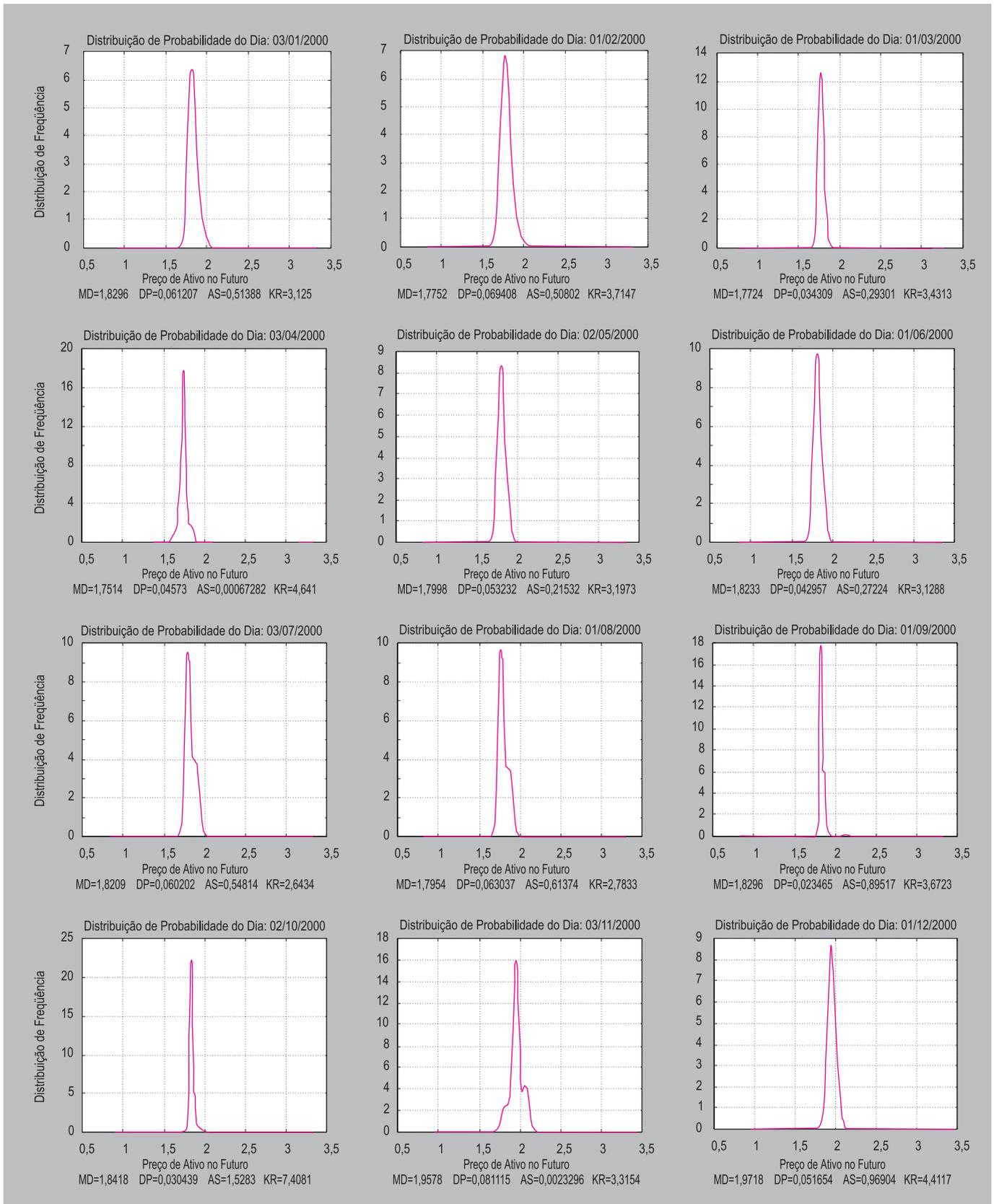
arte, arquitetura e urbanismo  
língua e literatura  
ciências humanas  
ciências exatas  
ciências biológicas

EDITORA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
www.edusp.com.br

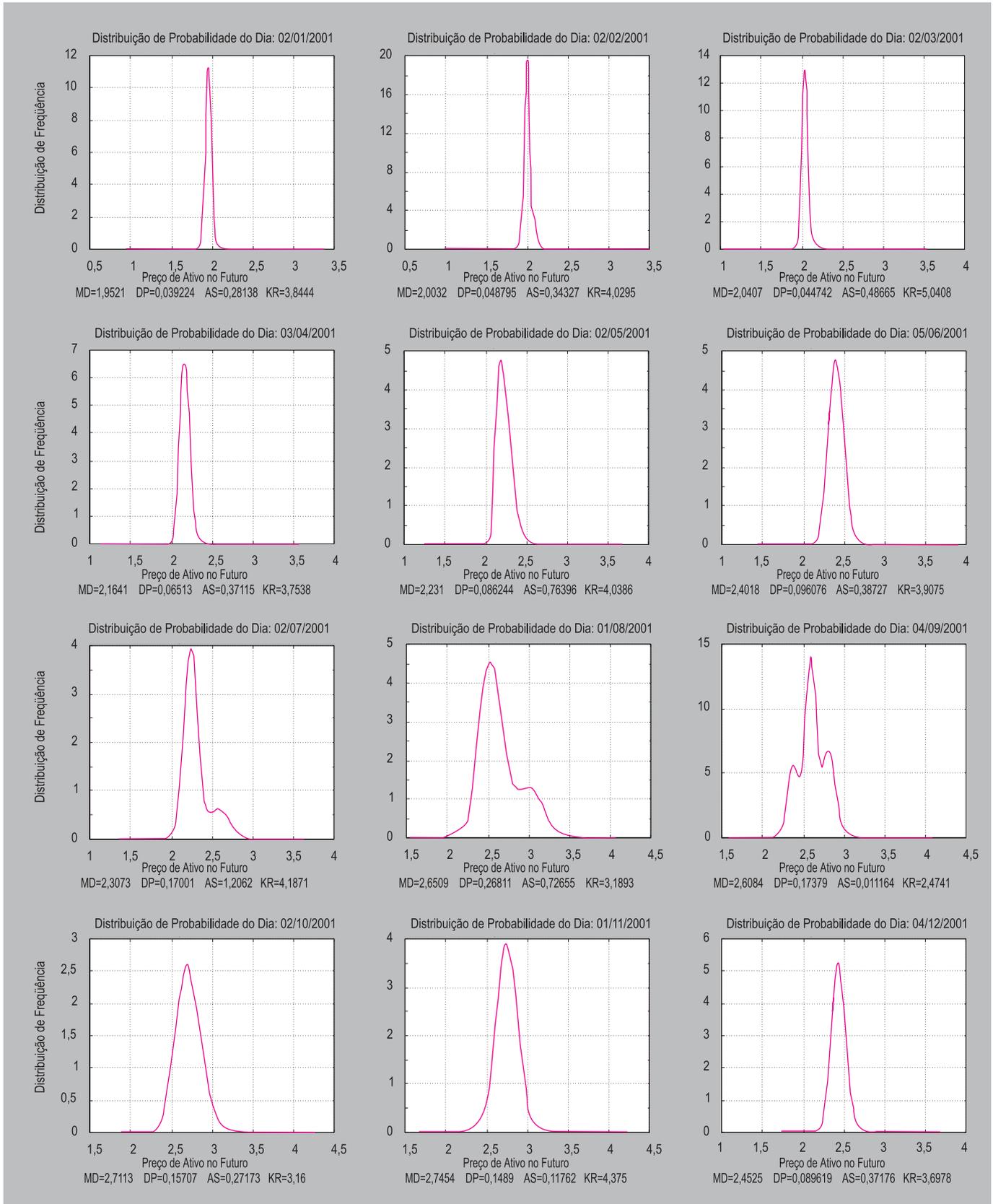
edusp

## APÊNDICE

### Densidades Neutras ao Risco de 2000

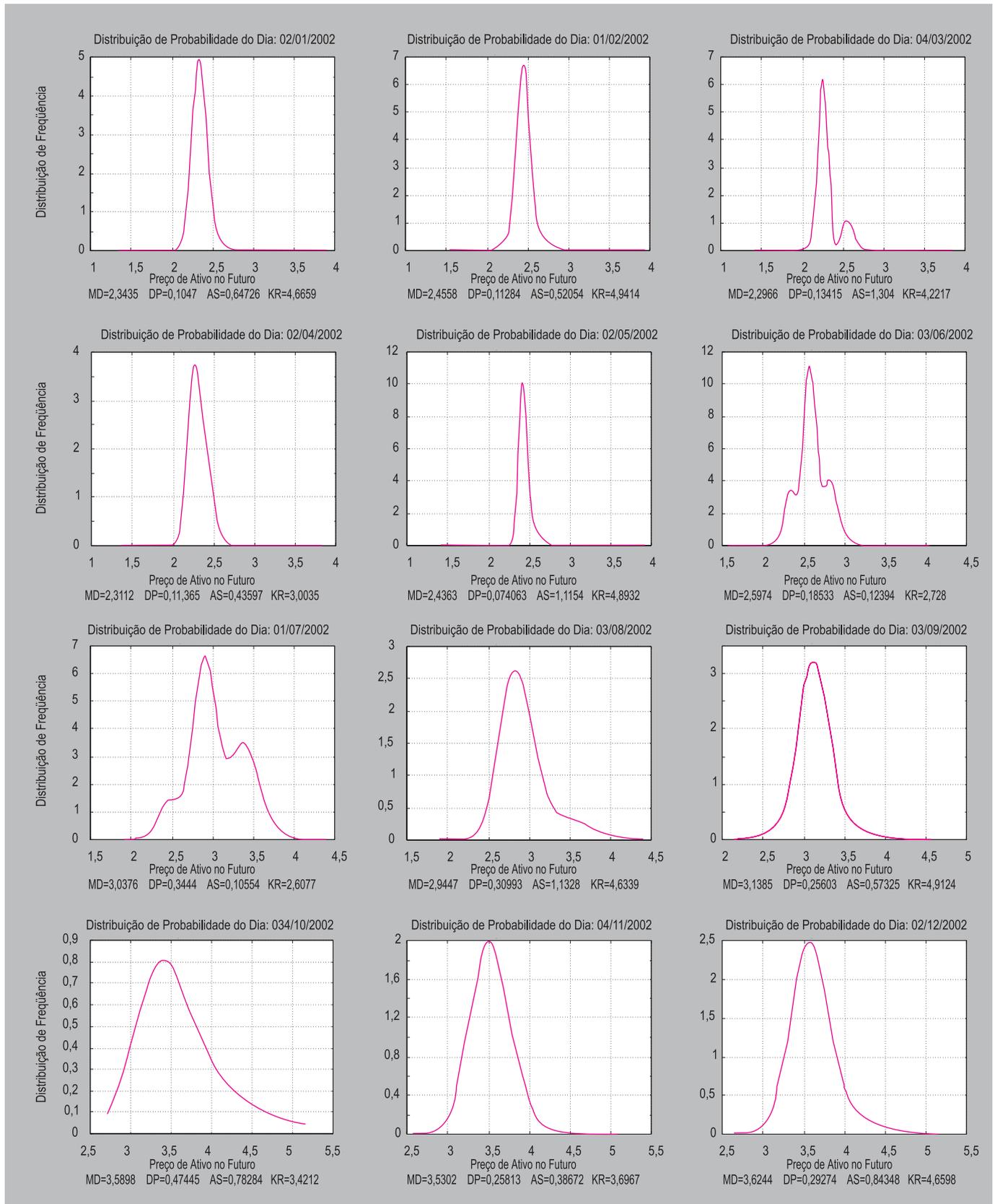


**APÊNDICE**  
**Densidades Neutras ao Risco de 2001**

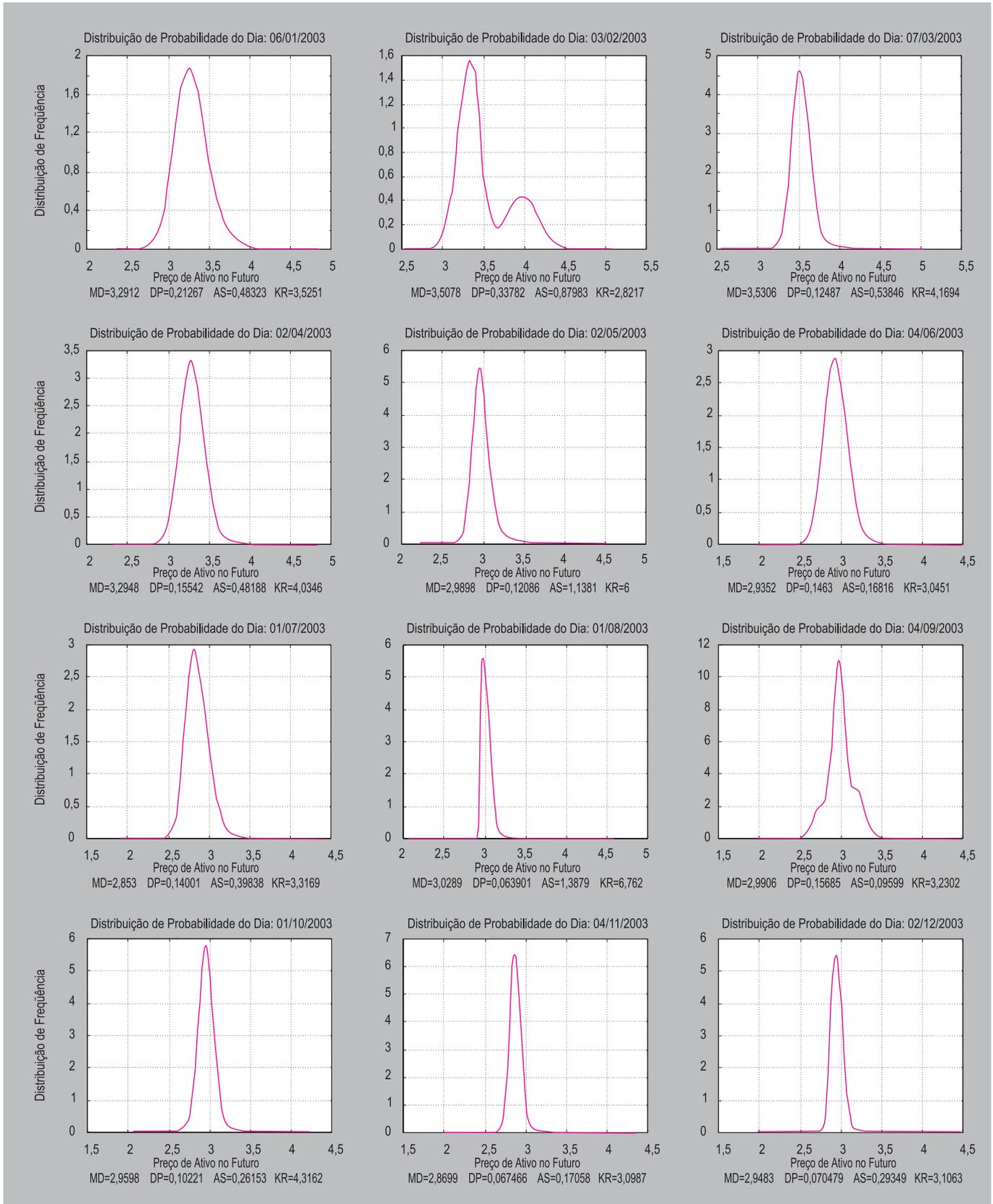


## APÊNDICE

### Densidades Neutras ao Risco de 2002

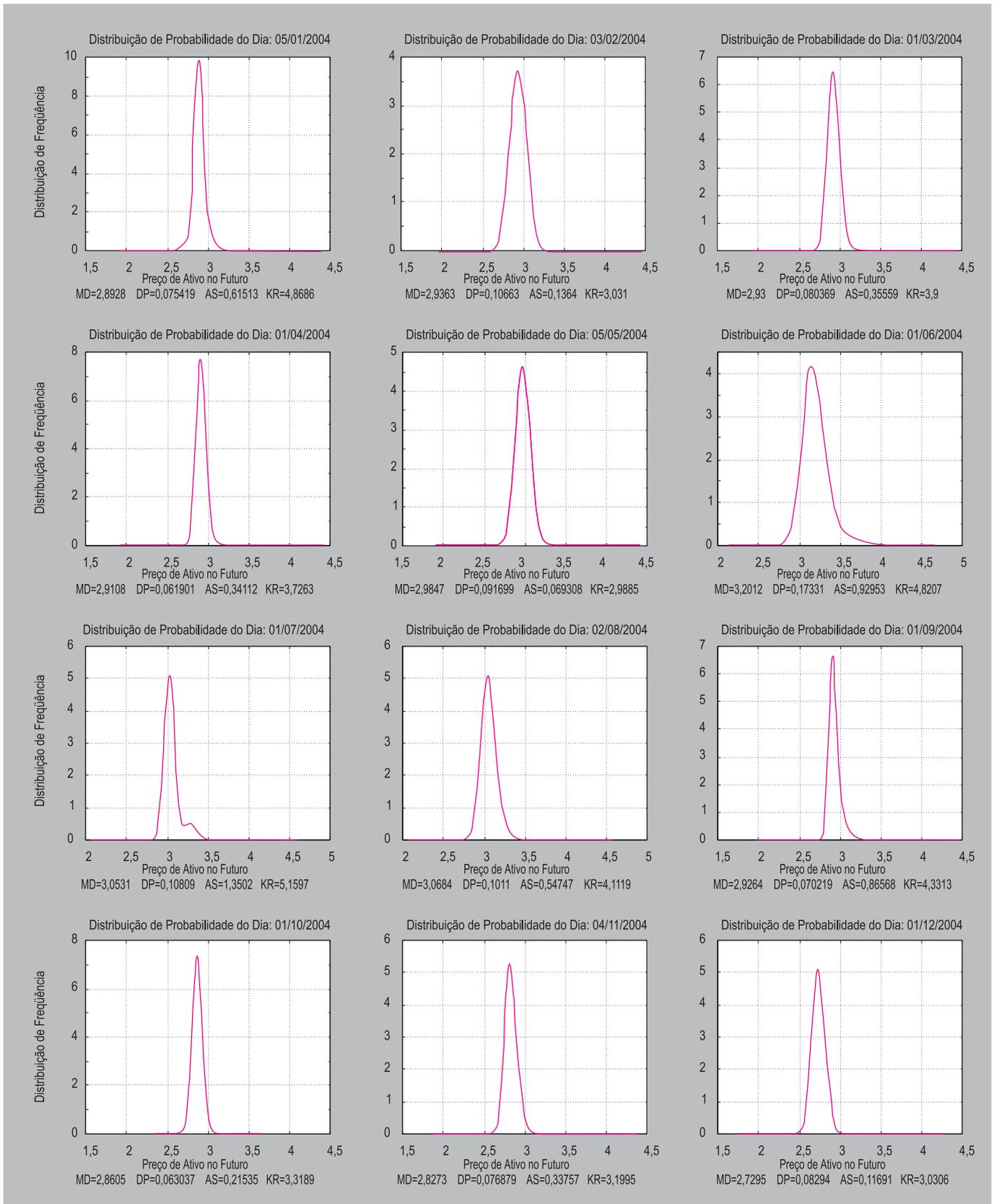


**APÊNDICE**  
**Densidades Neutras ao Risco de 2003**



## APÊNDICE

### Densidades Neutras ao Risco de 2004



**APÊNDICE**  
**Densidades Neutras ao Risco de 2005**

