

**SEGURO DINÂMICO DE PORTFÓLIO: ADICIONANDO A
CURVATURA DETERMINADA PELO GAMA**

Luiz Claudio Guida Valmont

**UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Instituto COPPEAD de Administração**

Mestrado em Administração

**Orientador: Eduardo Facó Lemgruber
Ph.D. em Finanças**

**Rio de Janeiro
2004**

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

**SEGURO DINÂMICO DE PORTFÓLIO: ADICIONANDO
A CURVATURA DETERMINADA PELO GAMA**

Luiz Claudio Guida Valmont

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

Aprovada por:

Prof. Eduardo Facó Lemgruber, Ph.D. – Orientador

Prof. Celso Funcia Lemme, Ph.D.

Franklin Gonçalves, Ph.D.

Rio de Janeiro

2004

FICHA CATALOGRÁFICA

Valmont, Luiz Claudio Guida

Seguro Dinâmico de Portfólio: Adicionando a curvatura determinada pelo gama / Luiz Claudio Guida Valmont. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPEAD, 2002.

Xi, 82 p.: il

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPEAD, 2004.

1. Finanças – Tese. 2. Opções – Tese. 3. Seguro Dinâmico – Tese. I. Título. II. Tese (Mestrado – UFRJ/COPPEAD)

À Sabrina, razão de tudo na minha vida, por seu amor, incentivo e compreensão. Aos meus pais, por me propiciar sempre o melhor estudo. Aos meus avós, pelo carinho e dedicação, sem os quais eu não teria conseguido.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, origem e destino de todos.

Agradeço ao Prof. Eduardo Facó Lemgruber, orientador deste trabalho, por sua enorme capacidade de tornar claro o caminho a ser seguido e pela confiança depositada em mim.

Agradeço ao Prof. Celso Lemme e ao Sr. Franklin Gonçalves por participarem da minha banca de defesa.

Agradeço ao Gustavo Vilaro que me incentivou a fazer o mestrado e tem sido, além de mentor, um grande amigo durante a minha jornada profissional e acadêmica.

Agradeço a meus colegas da Turma 2002 pelo carinho e inspiração, uma vez que são todos profissionais de qualidade indiscutível.

Agradeço a todos os professores e funcionários do Instituto COPPEAD de Administração, nomeadamente à Secretaria Acadêmica, por todo o apoio, dedicação e amizade.

Agradeço à BOVESPA pela disponibilização dos dados fundamentais ao desenvolvimento desta dissertação.

RESUMO

VALMONT, Luiz Claudio Guida. **Seguro Dinâmico de Portfólio: Adicionando a curvatura determinada pelo gama.** Orientador: Eduardo Facó Lemgruber. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPEAD, 2004. Dissertação (Mestrado em Administração).

O Seguro Dinâmico de Portfólio ainda tem sua utilização pouco explorada no Brasil. São poucos os fundos de investimento de capital garantido e, dado o cenário de juros altos, é clara a opção por fundos DI e de renda fixa. Outra razão para a pouca difusão de fundos de capital garantido é a pouca oferta de opções de compra e, sobretudo, de venda no mercado de capitais brasileiro, que limita a qualidade das carteiras construídas. Na medida em que as taxas de juros brasileiras cheguem a patamares mais razoáveis e aumente a oferta de opções no mercado de capitais, cresce a importância de estratégias alternativas de investimento como o Seguro Dinâmico de Portfólio. Paralelamente, o reconhecimento de que as letras gregas são importantes instrumentos no controle de risco de carteiras formadas por derivativos nos levou a avaliar uma estratégia que considerasse o gama da carteira de forma a torná-la mais próxima de uma carteira ideal, formada por opções de venda, tão ausentes em nosso mercado. A análise efetuada utilizou-se de um processo de simulação de operações de compra e venda, com uma estratégia de negociação inteligente que buscou comprar e vender ativos subvalorizados e supervalorizados respectivamente em comparação a preços determinados pelo modelo Black-Scholes. A realização da estratégia para 8 períodos de tempo distintos mostrou ser possível melhorar a eficiência da carteira, sugerindo que a correção da curvatura (gama) da carteira leva a resultados significativamente melhores que os obtidos com carteiras dinâmicas baseadas somente no delta.

ABSTRACT

VALMONT, Luiz Claudio Guida. **Seguro Dinâmico de Portfólio: Adicionando a curvatura determinada pelo gama.** Orientador: Eduardo Facó Lemgruber. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPEAD, 2004. Dissertação (Mestrado em Administração).

Portfolio Insurance is still poorly used in Brazil. There are only a few investment funds using this strategy and given the actual high levels of Brazilian interest rates it is clear the choice for DI and fixed return funds. Another reason for this scenario is the insufficient offer of call and, overall, put options in the Brazilian capital market, which limit the quality of dynamic portfolios. Once the level of interest rates decreases and the offer of call and put options increases, more important become alternative strategies such as insured portfolios. Besides that, it is recognized the importance of the Greeks in the risk control of portfolios based on derivatives. In this sense it was analyzed a strategy considering the gamma of portfolio in order for the portfolio to have a result close to an ideal portfolio formed by put options. It was used a simulation process to negotiate options in an intelligent manner, buying and selling under and over evaluated options respectively. This experiment showed that it was possible to improve the efficiency of the portfolio, indicating that the correction of the portfolio's curvature (gamma) takes to better results compared to an insured portfolio based only on the delta.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Opção de Compra versus Posição em Ativo e Caixa (Rubinstein & Leland, 1981)	p.12
Figura 2	Volume financeiro dos Fundos de Investimento Garantido na França	p.15
Figura 3	Variação da riqueza do investidor no vencimento utilizando a estratégia OBPI	p.19
Figura 4	Valor final do portfólio segurado utilizando a estratégia OBPI	p.19
Figura 5	Delta de uma opção de compra	p.27
Figura 6	Erro devido ao delta <i>hedging</i> puro	p.31
Figura 7	Comportamento dos preços do ativo Telemar PN (TNLP4) durante o período de 28/07/2000 a 07/11/2002	p.41
Figura 8	Comparação entre os desvios obtidos pela Estratégia OBPI e a correção da curvatura para os períodos 1 a 4, considerando Limites de Liquidez iguais a 1% e 5%.	p.58
Figura 9	Comparação entre os desvios obtidos pela Estratégia OBPI e a correção da curvatura para os períodos 5 a 8, considerando Limites de Liquidez iguais a 1% e 5%.	p.59
Figura 10	Comparação entre os desvios obtidos pela Estratégia OBPI e a correção da curvatura para os períodos 1 a 4, sem os ganhos decorrentes da estratégia de negociação.	p.61
Figura 11	Comparação entre os desvios obtidos pela Estratégia OBPI e a correção da curvatura para os períodos 5 a 8, sem os ganhos decorrentes da estratégia de negociação.	p.62
Figura 12	Volatilidade anual calculada pelo Modelo EWMA com λ igual a 0,94	p.65
Figura 13	Liquidez do mercado de opções de TNLP4 durante o período do experimento	p.67

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1	Intervalos de tempo de 63 dias úteis utilizados no experimento	p.42
Quadro 2	Parâmetros de risco da carteira segurada após equalização do gama	p.50
Quadro 3	Configuração do Problema de Programação Linear Diário	p.52
Tabela 1	Resultados obtidos pela Estratégia OBPI pura para Telemar PN	p.55
Tabela 2	Resultados obtidos pela correção da curvatura com Limite de Liquidez igual a 1%	p.57
Tabela 3	Resultados obtidos pela correção da curvatura com Limite de Liquidez igual a 5%	p.57
Tabela 4	Avaliação dos erros quadrados da carteira após correção da curvatura	p.61
Tabela 5	Avaliação do impacto da variabilidade da volatilidade no resultado final	p.67
Tabela 6	Avaliação do impacto da liquidez no resultado final	p.70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	A FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	1
1.2	OBJETIVOS	2
1.2.1	Objetivo Principal.....	2
1.2.2	Desenvolvimento de Estratégia Alternativa Realista	2
1.2.3	Questão a Ser Respondida pela Pesquisa.....	3
1.3	MOTIVAÇÃO DO ESTUDO.....	3
1.4	RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....	4
1.5	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	4
1.6	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1	OPÇÕES SINTÉTICAS.....	7
2.2	SEGURO DINÂMICO DE PORTFÓLIO	14
2.2.1	Tipos de Seguro Dinâmico de Portfólio.....	16
2.2.2	A quem se destina o Seguro Dinâmico de Portfólio	22
2.3	FONTES DE INCERTEZA NA APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA OBPI.....	23
2.4	LETRAS GREGAS	26
2.4.1	Delta	27
2.4.2	Gama	31
2.4.3	Teta	32
2.4.4	Rô	34
2.4.5	Vega.....	35
2.4.6	A Importância das Letras Gregas	36
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	39
3.1	DESCRIÇÃO GERAL DO EXPERIMENTO	40
3.1.1	Seleção dos Dados	40
3.1.2	Etapas do Experimento	44
3.1.3	Premissas Adotadas e Hipóteses Testadas.....	46
3.2	CONSTRUÇÃO DO SEGURO DINÂMICO DE PORTFÓLIO.....	47
3.2.1	Construção da Carteira Segurada pela Estratégia OBPI.....	47

3.2.2	Construção da Carteira Teórica	48
3.3	CONSTRUÇÃO DA CARTEIRA PARA ADICIONAR A CURVATURA	49
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	54
4.1	RESULTADO DA CORREÇÃO DA CURVATURA	54
4.2	ANÁLISE DO IMPACTO DA VOLATILIDADE E DA LIQUIDEZ.....	65
5	CONCLUSÕES.....	69
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
	ANEXOS	79

1 INTRODUÇÃO

1.1 A FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O Seguro de Portfólio (*Portfolio Insurance*) tem destacada participação no mercado internacional como alternativa de investimento. Para o desenvolvimento de tal carteira podem ser utilizadas diversas estratégias. Sua utilidade encontra-se no desenvolvimento de um portfólio capaz de auferir ganhos em momentos de alta e proteger o capital investido em momentos de baixa. O Seguro Dinâmico de Portfólio foi inicialmente proposto através da utilização de Opções Sintéticas, advindas dos modelos desenvolvidos nos trabalhos de Black & Scholes (1973) e Merton (1973), no intuito de substituir as opções de venda reais, que podem não existir ou ter baixa liquidez.

Desde então, diversos estudos foram feitos para aprimorar os resultados da carteira segurada e várias estratégias surgiram. Em todas elas, porém, permaneceu um fator negativo importante: a carteira segurada dinamicamente apresenta, normalmente, desvios em relação à performance teórica objetivada. Tal fato ocorre devido a variações bruscas nos preços do ativo-objeto, resultantes de momentos de estresse no mercado. O Seguro Dinâmico é incapaz de acompanhar estes movimentos, pois a carteira é construída baseada no parâmetro de risco delta e tem os demais parâmetros de risco iguais a zero. Além disso, a carteira sofre um rebalanceamento periódico que não pode ter frequência muito elevada, em função dos altos custos de transação.

Uma vez que existam opções de compra disponíveis no mercado, estas poderiam ser utilizadas numa tentativa de recompor os parâmetros de risco da carteira. Nesse caso, é formada uma carteira paralela, composta apenas por opções de compra, que tem parâmetros de risco ideais para serem somados aos parâmetros de risco da carteira segurada. O resultado é uma carteira final com parâmetros de risco mais próximos dos da carteira teórica. Nomeadamente, seria

importante corrigir e igualar o parâmetro de risco gama, responsável pela curvatura dos preços da carteira, para que esta pudesse ter melhor reação aos movimentos acentuados de preços do ativo-objeto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Principal

Como principal objetivo, este trabalho busca avaliar a viabilidade de se montar uma carteira paralela de opções com parâmetros de risco delta e gama controlados de forma a corrigir a curvatura da carteira segurada. Além da viabilidade, a eficácia de tal procedimento também será testada. Uma vez corrigida a curvatura da carteira, espera-se que, em momentos de maior estresse no mercado, onde ocorrem variações bruscas de preço, a carteira segurada corrigida seja capaz de apresentar resultados mais próximos daqueles que seriam obtidos com uma carteira formada originalmente pelo ativo-objeto e pela opção de venda correspondente.

1.2.2 Desenvolvimento de Estratégia Alternativa Realista

A estratégia desenvolvida para corrigir a curvatura consiste na construção de uma carteira com opções de compra compradas e vendidas que somem os parâmetros de risco objetivados. Neste caso, a seleção dos ativos a serem comprados e vendidos será feita com base nos preços determinados pelo Modelo Black-Scholes de apreamento de opções. Um dos objetivos secundários deste estudo é o desenvolvimento de um cenário de negociação capaz de reproduzir as limitações do mercado. Assim, variáveis como liquidez, volatilidade estimada, disponibilidade de caixa e risco da carteira deverão ser controlados de forma a reproduzir um cenário realista. A aplicação prática dos resultados obtidos com este trabalho é, sem dúvida, uma grande preocupação. O estudo tem forte apelo acadêmico na busca do conhecimento de estratégias mais adequadas e, ao

mesmo tempo, tem apelo mercadológico na constatação de que pode proporcionar melhor desempenho a produtos financeiros existentes.

1.2.3 Questão a Ser Respondida pela Pesquisa

O experimento visa, portanto, responder a seguinte pergunta: *“É possível corrigir a curvatura de uma estratégia de Seguro Dinâmico de Portfólio e, dessa forma, diminuir os erros inerentes à estratégia pura?”* A viabilidade em melhorar a performance desta estratégia pode ser um incentivo ao desenvolvimento de produtos financeiros melhores e mais adequados às necessidades dos investidores que os adquirem. Caso não seja possível a correção, este estudo pode servir como alerta de que as carteiras seguradas dinamicamente serão, pelo menos no caso brasileiro, sempre sujeitas a resultados discrepantes dos teóricos, em função de variações bruscas nos preços do ativo-objeto.

1.3 MOTIVAÇÃO DO ESTUDO

O Seguro Dinâmico no Brasil tem tido pouca utilização prática, como poderá ser visto ao longo deste trabalho. Entretanto, trata-se de um produto muito comum no exterior com grande aceitação e crescimento de vendas sob a forma de fundos de investimento de capital garantido. Dessa forma, uma primeira motivação diz respeito à melhora na performance da estratégia de forma a torná-la um produto atrativo no Brasil.

Uma segunda motivação para o estudo, e que só vem corroborar a motivação já descrita, é a disseminação dos produtos financeiros no Brasil, principalmente para renda variável. A Bolsa de Valores de São Paulo (Bovespa) tem feito diversos projetos nos últimos anos numa tentativa de popularizar a compra de ações. Junto com a popularização do mercado de capitais brasileiro, pode-se esperar uma maior demanda por produtos financeiros de renda variável e o Seguro Dinâmico de Portfólio pode ser uma opção atrativa para investidores

que desejam ter parte de seus rendimentos em renda variável e que, ao mesmo tempo, têm maior aversão ao risco e procuram produtos mais seguros.

A literatura sobre o assunto reconhece amplamente os problemas da estratégia de Seguro Dinâmico de Portfólio e aponta a necessidade em se considerar os demais parâmetros de risco, mas peca ao não apresentar estudos específicos de correção de tais problemas. Dessa forma, uma terceira motivação para o presente trabalho é ampliar os estudos realizados no âmbito das estratégias de Seguro Dinâmico de Portfólio e da influência dos parâmetros de risco (Letras Gregas).

1.4 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

As motivações descritas acima demonstram a relevância deste estudo. Além de ser academicamente importante, o presente trabalho poderá ser utilizado na prática para o aprimoramento das estratégias existentes para segurar carteiras. Com a popularização do mercado de renda variável brasileiro, espera-se que o presente trabalho venha contribuir no desenvolvimento de produtos e disseminação de uma cultura de investimentos no mercado de capitais brasileiro. Acima de tudo, poderá resultar na construção de soluções financeiras mais adequadas às necessidades dos investidores.

1.5 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O estudo não buscou avaliar a estratégia de Seguro Dinâmico de Portfólio como sendo uma estratégia eficaz. Limitou-se a verificar se a estratégia pode ser melhorada com a correção da curvatura da carteira. Baseou-se na carteira teórica formada pelo ativo-objeto e pela opção de venda como parâmetro de comparação. Em nenhum momento comparou-se a estratégia com qualquer *benchmark* de rentabilidade no período estudado.

Além disso, o presente trabalho não se propõe a avaliar todas as ações com opções disponíveis no mercado. Dessa forma, será apenas indicativo do sucesso da estratégia de correção da curvatura da carteira. Não foram contempladas opções cambiais, opções sobre futuros ou opções sobre índices, embora estas possam apresentar as mesmas oportunidades de correção.

1.6 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação foi organizada em cinco capítulos. Neste primeiro capítulo foram introduzidos o problema, o objetivo, a motivação, a relevância e a delimitação do estudo.

O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico relevante para o experimento, incluindo, portanto, as principais contribuições existentes na literatura. A Seção 2.1 trata das Opções Sintéticas, que formam a base para a construção das carteiras seguradas dinamicamente. A Seção 2.2 descreve o Seguro Dinâmico de Portfólio, listando as características de seus principais tipos e avaliando a quem se destina esta estratégia. A seguir, na Seção 2.3, são tratadas as principais incertezas da carteira segurada dinamicamente para, na Seção 2.4, serem descritas as Letras Gregas (ou Instrumentos de *Hedge*), fundamentais neste trabalho.

O Capítulo 3 descreve a metodologia utilizada neste trabalho. Inicia-se por desenvolver uma descrição geral do experimento para, em seguida, aprofundar-se na construção das carteiras. Na Seção 3.2 é descrita a construção da carteira original do Seguro Dinâmico de Portfólio, segundo a estratégia OBPI. Na Seção 3.3, é desenvolvida a construção da carteira paralela para correção da curvatura. São detalhados todos os procedimentos para construção de ambas as carteiras, bem como para a comparação da carteira total gerada com a carteira teórica objetivada.

O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos no experimento. Inicia-se por mostrar os desvios resultantes da estratégia pura, descreve os resultados da correção da curvatura e procura explicar em detalhes os aspectos mais relevantes dos resultados obtidos. Por fim, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões e as indicações para eventuais pesquisas futuras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para prover o leitor da base conceitual necessária ao entendimento da estratégia desenvolvida neste trabalho, este capítulo procura descrever, de forma simplificada, a base conceitual da Estratégia de Seguro Dinâmico de Portfólio (ou Alocação Dinâmica de Ativos). Inicia-se, portanto, por visitar as Opções Sintéticas, fundamentadas nas técnicas de *hedge* dinâmico. Além disso, são também abordados os principais aspectos do Seguro Dinâmico de Portfólio, desde a operacionalização da técnica aos diversos tipos de estratégia existentes no mercado, chegando, por fim ao público ao qual ele se destina.

Posteriormente, são descritas as fontes de incerteza no resultado final da aplicação da estratégia. Além dos erros embutidos com a replicação de opções (opções sintéticas), a utilização do *hedge* dinâmico tem ainda outras fontes de incerteza originadas em possíveis descontinuidades (saltos) na curva de preços do ativo, na volatilidade e nos custos de transação. As Letras Gregas, como visto em seguida, são fundamentais na estratégia testada neste trabalho, pois buscam eliminar parte dos erros relativos às incertezas descritas. Sua origem e importância são, então, desenvolvidas para justificar a utilização da compra alternativa de gama na estratégia original de alocação dinâmica.

2.1 OPÇÕES SINTÉTICAS

O objetivo principal deste trabalho, a Estratégia de Seguro Dinâmico de Portfólio, está centrado no modelo de apreçamento de opções, inicialmente desenvolvido por Black & Scholes (1973) e Merton (1973). De fato, a fórmula desenvolvida por estes autores sustenta o conceito das opções sintéticas que determinam o *hedge* dinâmico. A grande vantagem de tal instrumento consiste no fato dele reproduzir com razoável exatidão o comportamento de uma opção de compra (venda) através da gestão de uma carteira simples composta do ativo-objeto comprado (vendido) e do ativo livre de risco vendido (comprado).

As opções sintéticas são de especial interesse, principalmente se, no mercado em questão, não houver liquidez ou disponibilidade de opções de compra ou venda sobre determinado ativo-objeto. Tal ambiente é exatamente o caso do Mercado Brasileiro de Derivativos. Lozardo (1998) já salientava para o fato de que as opções negociadas na Bolsa de Mercadorias & Futuros de São Paulo respondiam apenas por 3,6% do volume total em 1997. Atualmente as opções de compra restringem-se a 4 ou 5 ativos-objeto, sendo que, destes, apenas dois têm liquidez regular (opções sobre Telemar PN e Petrobrás PN). No caso das opções de venda, a falta de derivativos é ainda mais evidente e nem sempre há negócios com opções de venda. Conforme destaca Bessada (2000):

“As opções de venda ainda não ganharam liquidez no país, diferentemente do que ocorre nos mercados internacionais.”

Segundo Black & Scholes (1973), se os retornos de um ativo têm distribuição log-normal, e é possível operar continuamente no mercado, o preço de uma opção de compra europeia (Call) de uma ação que não paga dividendos e o preço de uma opção de venda europeia (Put) de uma ação que não paga dividendos podem ser calculados pelas fórmulas:¹

$$C = SN(d_1) - Xe^{-rT}N(d_2) \quad (2.1)$$

e

$$P = Xe^{-rT}N(-d_2) - SN(-d_1) \quad (2.2)$$

¹ Todas as opções tratadas neste trabalho são europeias sendo, portanto, exercidas apenas no seu vencimento.

onde

$$d_1 = \frac{\ln(S/X) + (r + s^2/2)T}{s\sqrt{T}} \quad (2.3)$$

$$d_2 = \frac{\ln(S/X) + (r - s^2/2)T}{s\sqrt{T}} = d_1 - s\sqrt{T} \quad (2.4)$$

e C é o valor da Call, P é o valor da Put, S é o preço atual do ativo-objeto, $N(x)$ é a função distribuição de probabilidades acumuladas para uma variável normalmente distribuída com média 0 e desvio padrão 1, X é o preço de exercício da opção (*Strike*), r é taxa de juros livre de risco, s é a volatilidade dos preços do ativo-objeto e T é o tempo restante até o vencimento da opção.²

Para este trabalho, como será visto adiante, é relevante a técnica para sintetizar uma posição comprada em uma Put. Assim, a partir da fórmula para o cálculo do preço da Put (Equação 2.2), pode-se concluir que uma posição comprada em uma opção de venda europeia, sem pagamento de dividendos, equivale a uma posição comprada no ativo livre de risco [$Xe^{-rT}N(-d_2)$] e uma posição vendida no ativo-objeto [$-S_0N(-d_1)$]. O mesmo raciocínio se aplica a uma posição comprada em uma Call, sendo sua mímica também possível, através de posições compradas no ativo-objeto e vendidas (emprestadas) no ativo livre de risco. Vale destacar que, para que se possa replicar uma opção, é necessário que o investidor esteja habilitado a vender ativos, tanto o ativo-objeto quanto o ativo livre de risco, a descoberto.

A partir do momento em que o investidor monta uma posição comprada em uma opção sintética de venda (Put Sintética), constantemente ele deverá rever sua posição alterando mix entre ativo-objeto e ativo livre de risco para reproduzir da forma mais fiel possível o comportamento da opção verdadeira de venda.³ Isto

² Esta notação é utilizada em toda esta dissertação.

³ Este reajuste constante é conhecido como *hedging* dinâmico ou alocação dinâmica de ativos.

ocorre devido à variação no preço do ativo que, por sua vez, altera a equação fundamental da Put Sintética. Nas palavras de Abken (1987):

“Ajustes na composição ativo-objeto/ativo livre de risco são feitos com o passar do tempo de forma que o valor do portfólio sendo replicado iguale o valor da (...) Put. Este processo de replicação é chamado de hedge dinâmico.” (tradução nossa)

Vale destacar, porém, que, desconsiderando os custos de transação, o investidor não desembolsa nenhum recurso extra após a montagem da posição. Com a alteração dos preços do ativo o investidor ou vende mais ativo-objeto e utiliza o recurso levantado para aumentar a posição comprada à taxa livre de risco (quando ocorrer queda no preço do ativo-objeto) ou vende parte de sua posição comprada à taxa livre de risco para diminuir a posição vendida no ativo-objeto (quando ocorrer aumento no preço do ativo-objeto).

Rubinstein & Leland (1981) desenvolveram a idéia das opções sintéticas com mais profundidade, baseando-se principalmente no Modelo Black-Scholes. Segundo eles:

“(...) na maioria das situações de prática relevância, o comportamento dos preços de uma opção é muito semelhante a uma carteira composta do ativo-objeto e caixa que é revista ao longo do tempo.” (tradução nossa)

Os autores mostram que, para uma estratégia de replicação de uma opção, três condições devem ser satisfeitas:

- (1) Para pequenas mudanças no preço do ativo-objeto, o investimento inicial na opção sintética deve apresentar o mesmo retorno absoluto que um investimento em uma opção correspondente;
- (2) Para equalizar as taxas de retorno, o investimento inicial deve ser igual ao valor da opção correspondente;

- (3) Uma vez que a opção correspondente não necessita de investimentos posteriores, a opção sintética também não deve ter necessidade de desembolsos extras.

Para comprovar que as condições são todas satisfeitas, os autores fazem algumas observações importantes sobre o comportamento relativo dos preços do ativo-objeto e de uma opção de compra correspondente. As conclusões tiradas a partir da observação com opções de compra são estendidas para opções de venda.

- (a) Os preços das opções de compra e dos ativos-objeto mudam sempre na mesma direção;
- (b) Uma mudança de uma unidade monetária no preço do ativo-objeto gera uma mudança de menos de uma unidade monetária no preço da opção de compra correspondente;
- (c) Quando o preço do ativo-objeto está muito abaixo do *Strike* (*deep out-of-the-money*), uma mudança de uma unidade monetária tem pouco efeito sobre o preço da opção de compra. Se o preço do ativo-objeto sobe e atinge o *Strike* (*at-the-money*), uma mudança de uma unidade monetária no preço do ativo-objeto gera uma mudança de aproximadamente meia (\$ 0,50) unidade monetária no preço da opção de compra. Se o preço do ativo-objeto sobe ainda mais e fica muito acima do *Strike* (*deep in-the-money*), uma mudança de uma unidade monetária tem pouco efeito sobre o preço da opção de compra;
- (d) Uma mudança de 1% no preço do ativo-objeto gera uma mudança de mais de 1% na opção de compra.

Para satisfazer a Condição (1), o valor opção de compra sintética deve compartilhar os comportamentos (a) e (b). Isso é facilmente atingido se a posição comprada no ativo-objeto for menor que 1. Uma análise mais cuidadosa da Figura 1 nos mostra que a posição comprada no ativo-objeto é igual a $N(d_1)$, que é também o fator delta (?). Por definição, segundo Black & Scholes (1973) o fator delta é menor do que 1, satisfazendo a primeira condição. Tal fato pode ser

facilmente verificado observando a curva de preços da Call. Como o delta da Call (Δ_c) é sua primeira derivada, ele representa a inclinação desta curva. Como pode ser visto novamente na Figura 1, o Δ_c vai de aproximadamente 0 (*deep out-of-the-money*) até aproximadamente 1 (*deep in-the-money*), sendo que, quando $S = X$ (*at-the-money*), Δ_c tem valor entre 0 e 1, satisfazendo a Condição (1) e sendo coerente com o comportamento (c), descrito acima.

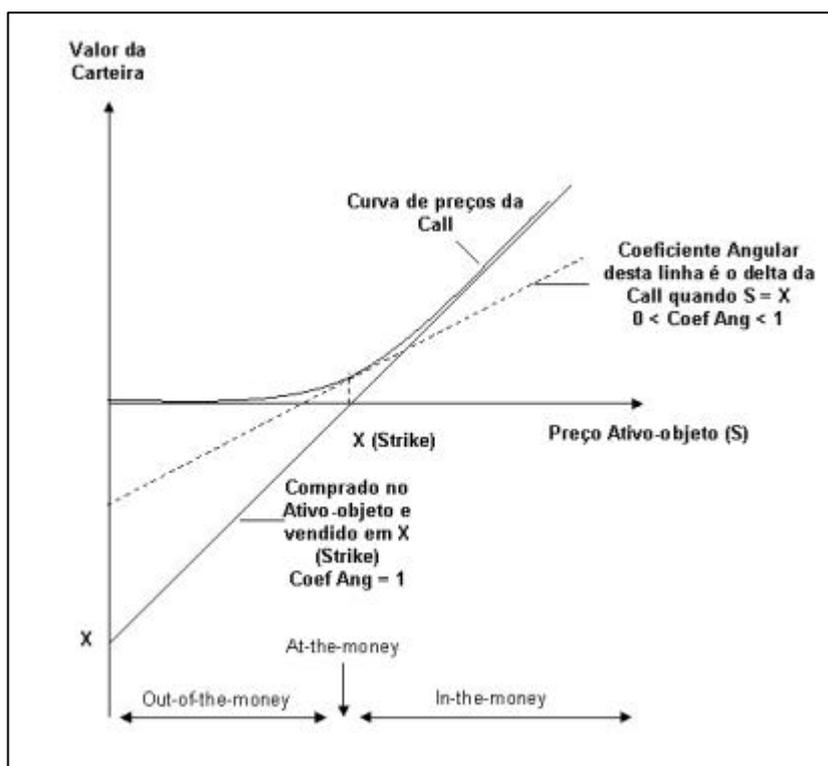


Figura 1 – Opção de Compra versus Posição em Ativo e Caixa (Rubinstein & Leland, 1981)

Ainda segundo Rubinstein & Leland (1981), para que a Condição (2) seja satisfeita, observando o comportamento (d), a opção de compra sintética deverá ter a posição comprada em ações financiada pela taxa livre de risco. Verifica-se na Figura 1 que a extensão da linha tracejada mostra exatamente a posição vendida em ativo livre de risco no eixo vertical, conforme esperado pelo Modelo Black-Scholes. A Condição (3), por sua vez, é facilmente satisfeita, dado que os ajustes para manter a opção sintética acompanhando o Modelo Black-Scholes (*hedge* dinâmico) não necessitam de recursos extras. O *hedge* dinâmico é feito aumentando-se e diminuindo-se as posições contrárias no ativo-objeto ou no ativo livre de risco.

Em seu trabalho, exemplificando a aplicação do Seguro Dinâmico de Portfólio no Brasil, Lemgruber, Becker & Felício (1991) abordam de maneira bastante didática a replicação de opções. Seguindo o conceito de Black & Scholes (1973), os autores argumentam que uma carteira de retorno livre de risco baseada na compra de uma opção de venda (sendo P_t seu valor no tempo t) e uma fração (Δ_t) do ativo-objeto (sendo S_t seu valor no tempo t) tem o mesmo fluxo de pagamentos que uma aplicação financeira livre de risco no valor da carteira.⁴ Como a posse da carteira tem o mesmo valor da posse da aplicação livre de risco, temos:

$$[+P_t + \Delta_t S_t] = \mathcal{S}\{+P_t + \Delta_t S_t\} \quad (2.5)$$

Modificando a Equação 2.5:

$$[P_t] = \mathcal{S}\{+P_t + \Delta_t S_t\} + [-\Delta_t S_t] \quad (2.6)$$

O resultado obtido pela Equação 2.6 é idêntico à conclusão tirada a partir do Modelo Black-Scholes, sendo:

$$\mathcal{S}\{+P_t + \Delta_t S_t\} = X e^{-rT} N(-d_2)$$

$$[-\Delta_t S_t] = -S_0 N(-d_1)$$

Os resultados obtidos por Rubinstein & Leland (1981), Rubinstein (1985), Asay & Edelsburg (1986), Bookstaber & Lagsam (1988) e Lemgruber, Becker e Felício (1991) concluem que o Modelo Black-Scholes é robusto no processo de criação de opções sintéticas, gerando resultados bastante satisfatórios, principalmente na estratégia de *hedge* dinâmico. Todos, porém, alertam para alguns problemas na estratégia. Asay & Edelsburg (1986) têm especial preocupação com a volatilidade. As Letras Gregas, e em particular o gama, terão

⁴ Utiliza-se a notação $\mathcal{S}\{x\}$ para representar a aplicação financeira de valor igual ao do portfólio x no ativo livre de risco.

determinante participação na estratégia deste trabalho, procurando endereçar não apenas o problema da volatilidade, mas também o problema das descontinuidades na curva de preços do ativo-objeto.

2.2 SEGURO DINÂMICO DE PORTFÓLIO

Comprar um seguro, seja a natureza deste qual for, implica em pagar um prêmio para, em caso de perdas no ativo segurado, o seguro proporcionar ganhos que, ao menos, limitem as perdas incorridas. O objetivo do Seguro Dinâmico de Portfólio se distancia das estratégias de *hedge* com *forwards* comumente conhecidas, no fato que, apesar de limitar perdas, não impõe as mesmas limitações às oportunidades de ganho. No caso do *hedge* com futuros, fica bem claro que, em caso de alta do ativo, o investidor, ainda assim, terá retorno não superior à taxa livre de risco. A vantagem do *hedge* com futuros, porém, é o fato de não haver desembolso em função da proteção. O investidor está apenas determinando uma posição conceitualmente contrária à já possuída no ativo de forma a eliminar quaisquer riscos referentes às variações no preço do ativo segurado.

O Seguro Dinâmico de Portfólio surge, portanto, como opção para o investidor que não pretende perder a oportunidade de auferir ganhos em caso de alta do ativo-objeto. Dessa forma, esta estratégia cria condições para que o investidor se beneficie das oportunidades de valorização. Tais características tornam o Seguro Dinâmico de Portfólio bastante atrativo para a indústria financeira. A alocação dinâmica de ativos pode ser utilizada para cobrir posições em aberto devido a produtos customizados oferecidos sobre ativos cujo *hedge* não se faz disponível, ou por não terem opções disponíveis no mercado ou existirem apenas opções com baixa liquidez. Além disso, existem diversos fundos de investimento, principalmente nos EUA e na Europa, que se utilizam dessas técnicas para oferecer produtos diferenciados a seus clientes. O trabalho de Sheridan (2002) apresenta boa ilustração sobre tal fato. Segundo suas pesquisas, o volume em Euros dos Fundos de Capital Garantido teve crescimento expressivo

na segunda metade da década de 90 na França (Figura 2), quando o cenário internacional conturbado e cheio de crises levou investidores a buscar aplicações de baixo risco.⁵

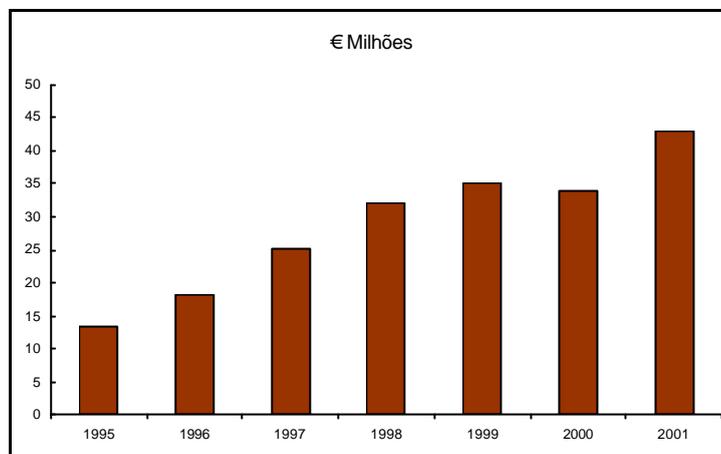


Figura 2 – Volume financeiro dos Fundos de Investimento Garantido na França

Fonte: Sheridan (2002)

No Brasil, o Seguro Dinâmico de Portfólio, apesar de todas as restrições oferecidas pelo mercado de opções e futuros que criam um ambiente propício à sua operação, não tem utilização disseminada. De acordo com dados da ANBID (Associação Nacional dos Bancos de Investimento), em janeiro de 2003, o Patrimônio Líquido dos Fundos de Capital Garantido, modalidade que representa as estratégias de portfólios segurados, era de apenas R\$ 200.769.290,00, representando 0,06% dos fundos de investimento domésticos no Brasil. Além disso, segundo a mesma fonte, destacam-se duas outras informações. Primeiro, o Patrimônio Líquido dos Fundos de Capital Garantido cresceu 25,13% nos últimos 12 meses. Segundo, existem apenas 6 instituições financeiras oferecendo esse produto a seus clientes no país.

⁵ Chegou-se a especular sobre a responsabilidade da estratégia de Seguro Dinâmico de Portfólio no colapso do mercado americano de 19 de outubro de 1987, quando o índice Dow Jones despencado mais de 500. Rubinstein (1988) se mostra cético em responsabilizar esta estratégia, mostrando que, do volume negociado no que ficou conhecido como *'Black Monday'* (Segunda-feira Negra), apenas 12% era referente a operações que envolviam Seguro Dinâmico de Portfólio.

2.2.1 Tipos de Seguro Dinâmico de Portfólio

Existem diversos tipos diferentes de estratégias de alocação dinâmica de ativos, dentre as quais se destacam: *Stop-Loss Orders*, *Constant Proportion Portfolio Insurance* (CPPI), *Option Based Portfolio Insurance* (OBPI) e *Constant Return* (CRP) *Portfolio Insurance*. Porém, não há evidência conclusiva da superioridade sistemática de nenhuma das estratégias citadas. Na verdade, existem vários estudos que buscam comparar a eficiência entre estratégias e os resultados não parecem ser muito conclusivos. Segundo Perold & Sharpe (1988) e, mais recentemente, Nietert (2002) e Huu Do (2002) não há evidência conclusiva sobre a hegemonia de nenhuma das estratégias. Da mesma forma, Oliveira (1997), após diversos testes empíricos com ativo-objeto sendo ações da Telebrás (TEL4), conclui existir um *trade-off* entre captura de retornos em momentos de alta e proteção em momentos de baixa, não havendo, portanto, estratégia superior. Porém, Bertrand & Prigent (2002), apesar de afirmar que não há como determinar a melhor estratégia utilizando-se os critérios usuais, tendem a considerar a estratégia *Constant Proportion Portfolio Insurance* (CPPI) como sendo superior em determinadas situações.

Neste trabalho, as principais estratégias são descritas em detalhes, porém o objetivo final será estudado utilizando-se apenas a mais comum no mercado: *Option Based Portfolio Insurance* (OBPI). A estratégia OBPI, além da maior aplicabilidade, oferece vantagens computacionais para o estudo, podendo ser redefinida com a inserção de opções sintéticas, fundamentais no mercado brasileiro. Vale destacar, também, que, segundo Rubinstein (1985):

“Estratégias de alocação dinâmica de ativos desenvolvidas para replicar uma opção de venda européia de longo prazo se aproximam do perfeito seguro de portfólio.” (tradução nossa)

2.2.1.1 Stop-Loss Orders

A estratégia de Ordens *Stop-Loss* é a mais simples e a menos dinâmica de todas. O investidor compra determinado valor em ativos e acompanha o preço dos mesmos. É determinado diariamente um patamar mínimo igual ao valor presente à taxa livre de risco do valor inicial segurado, trazido desde o vencimento à data atual. Enquanto o valor dos ativos adquiridos não caírem abaixo deste patamar mínimo, no qual possam ser trocados pelo ativo livre de risco para permitir a carteira atingir o valor inicial segurado no vencimento, o investidor mantém a posição comprada. Quando o valor atinge o patamar mínimo, a carteira é vendida completamente e trocada por uma carteira totalmente composta por ativos livre de risco.

Dessa forma, a estratégia de Ordens *Stop-Loss*, evita perda de patrimônio, mas deixa de capturar altas posteriores ao momento em que alcance o patamar mínimo, como bem salienta Rubinstein (1985). É, também, a menos dinâmica, pois o investidor apenas muda sua carteira uma única vez, em caso de queda abaixo do patamar mínimo.

2.2.1.2 Constant Proportion Portfolio Insurance (CPPI)

O Seguro de Proporções Constantes (CPPI) foi inicialmente proposto por Perold (1986) como uma estratégia simples, porém um pouco mais elaborada que as Ordens *Stop-Loss*. Black & Jones (1987) continuaram o desenvolvimento da teoria um ano depois.

O CPPI funciona determinando um patamar mínimo, análogo ao da estratégia de Ordens *Stop-Loss*. Forma-se, então, o colchão (c) que é igual ao valor do ativo-objeto menos o patamar mínimo. O investidor tem em carteira o ativo-objeto e o ativo livre de risco. A quantidade de ativo-objeto é determinada por uma exposição desejada ao risco. A exposição ao risco (e), por sua vez, é igual ao colchão vezes um fator multiplicador (m), gerando a equação $e = mc$.

Na medida em que o ativo-objeto aumenta seu valor, o colchão cresce e a exposição ao risco também, levando o investidor a comprar mais ativo-objeto e a vender parte de seus ativos livres de risco. Quando o ativo-objeto diminui seu valor o movimento inverso é feito.

O CPPI oferece a grande vantagem da determinação do fator multiplicador (m). De fato, o multiplicador permite o investidor calibrar sua exposição em função de sua aversão particular ao risco. Investidores menos avessos ao risco terão maior multiplicador e farão movimentos mais acentuados com a mudança do preço do ativo-objeto, enquanto que investidores mais avessos ao risco tenderão a buscar movimentos mais suaves em suas carteiras.

2.2.1.3 Option Based Portfolio Insurance (OBPI)

A estratégia *Option Based Portfolio Insurance* (OBPI), introduzida por Leland & Rubinstein (1976), como o próprio nome sugere, é baseada na utilização de opções para criar uma posição segurada contra perdas. O OBPI pode ser montado de duas maneiras diferentes, porém, com resultados semelhantes:

$$1) [Xe^{-rT} + C]$$

$$2) [P + S]$$

Na posição mais simples de ser compreendida (1), o investidor compra ativos livre de risco que retornarão o principal investido no vencimento da estratégia e, com o restante do capital, compra Calls que proporcionarão retorno superior, caso o valor do ativo-objeto suba no período até o vencimento. Trata-se de uma posição travada, isto é, sem necessidade de alteração até o vencimento. Da mesma forma, o investidor pode comprar o ativo-objeto e a mesma quantidade de Puts sobre este ativo (2). Neste caso, se o valor do ativo-objeto subir no período até o vencimento, o investidor capitaliza este retorno, mas a Put perde seu valor. Se, porém, o valor do ativo-objeto cair neste período, a Put valoriza-se e cobre as perdas com o ativo-objeto. Partindo da Equação 2.7, conhecida como

Put-Call-Parity, torna-se simples constatar que ambas as estratégias tem valor e resultado idênticos.

$$P + S - C = Xe^{-rT} \text{ (Put - Call - Parity)} \quad (2.7)$$

logo

$$P + S = Xe^{-rT} + C$$

Para que o leitor entenda com mais clareza a lógica da carteira segurada as Figuras 3 e 4 mostram a variação de riqueza no vencimento e o valor final da carteira do investidor utilizando o OBPI. Como pode ser visto, a variação da riqueza no vencimento é positiva e acompanha o movimento do ativo-objeto em caso de alta ($S > X$) e, em caso de baixa ($S < X$), mantém-se igual ao valor segurado (X).

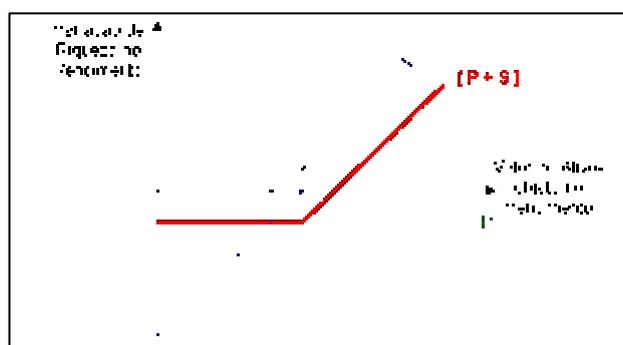


Figura 3 – Variação da riqueza do investidor no vencimento utilizando a estratégia OBPI

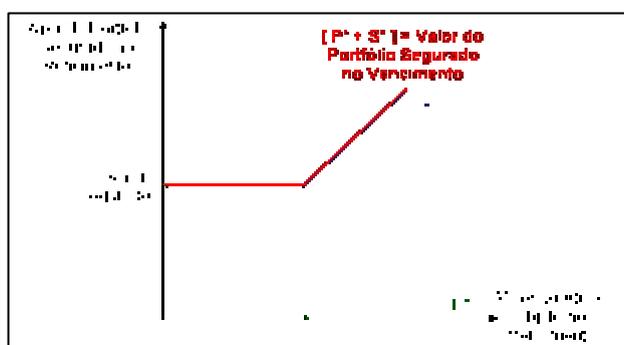


Figura 4 – Valor final do portfólio segurado utilizando a estratégia OBPI

Aplicando-se a Equação 2.2 (Modelo Black-Scholes), que determina a composição da Put Sintética, na carteira [P + S], chega-se à equação do Seguro Dinâmico de Portfólio, onde a carteira é composta apenas pelo ativo-objeto e pelo ativo livre de risco.

$$[P + S] = Xe^{-rT}N(-d_2) - SN(-d_1) + S = Xe^{-rT}N(-d_2) + S(1 - N(-d_1)) \quad (2.8)$$

O Modelo Black-Scholes mostra que:

$$\Delta_C = N(d_1)$$

e

$$\Delta_P = \Delta_C - 1 = N(d_1) - 1 = -N(-d_1)$$

logo, o valor da carteira segurada é determinado por:

$$[S + P] = Xe^{-rT}N(-d_2) + S(1 + \Delta_P) \quad (2.9)$$

Portanto, para se construir um Seguro Dinâmico de Portfólio, deve-se atentar para as mudanças diárias nos preços do ativo-objeto que, por sua vez, geram mudanças nos termos $N(-d_2)$ e $(1 + \Delta_P)$ da Equação 2.9 acima. Para que essa estratégia replicasse perfeitamente uma carteira segurada [S + P], as posições compradas e vendidas, tanto no ativo-objeto quanto no ativo livre de risco, deveriam ser revistas constantemente. Dados os custos de transação, tal revisão contínua torna-se proibitivamente cara e, na prática, a carteira é revista numa base diária.

Outro ponto importante a ser observado para a compreensão da estratégia OBPI é o *pay off* determinado pelos ativos em carteira. As equações abaixo

mostram que, no vencimento, a carteira [P + S] tem *pay off* igual ao máximo entre o valor segurado (X) e valor do ativo-objeto (S*⁶).

Como, no vencimento, o valor da Put pode ser determinado por:

$$P^* = \text{MAX} (X - S^*; 0) \quad (2.10)$$

pode-se concluir que o valor da carteira segurada é:

$$[P^* + S^*] = \text{MAX} (X - S^*; 0) + S^* = \text{MAX} (X; S^*) \quad (2.11)$$

Uma vez que, na maioria das vezes, não há opções com o vencimento desejado para o OBPI, utiliza-se na prática as opções sintéticas para montar a posição segurada. Outro fator que corrobora sua utilização é a falta de liquidez, ou mesmo inexistência, de opções sobre uma carteira de ativos ampla o suficiente para eliminar o risco não-sistemático. Portanto, no caso da utilização de opções sintéticas, a posição não é mais travada, tendo o investidor que acompanhá-la e fazer as alterações necessárias conforme a mudança no preço do ativo-objeto. Com a aproximação do vencimento, a posição do investidor tende a se consolidar para 100% em ativo livre de risco (*Out-of-the-money*) ou para 100% no ativo-objeto (*In-the-money*). Isto ocorre, pois as quantidades compradas que cada um dos ativos tem crescem ou decrescem em sentido inverso entre si.

2.2.1.4 Constant Return Participation (CRP) Portfolio Insurance

Uma das questões mais importantes da estratégia OBPI é o prêmio pago pelo seguro. Mesmo para a Put Sintética, o prêmio é pago em montante de igual valor. Como forma de eliminar esta desvantagem, a estratégia CRP oferece a alternativa de o investidor abrir mão de parte do retorno em caso de alta do ativo-objeto, em troca do não pagamento do prêmio. Isso é feito com a venda de Calls em montante suficiente para compensar o custo da Put, não havendo qualquer desembolso adicional à compra do ativo-objeto.

⁶ A notação asterisco (*) indica o valor do ativo no vencimento.

O CRP foi inicialmente proposto por Zimmermanh (1996). Sua forma mais comum é através da venda de Calls associada ao portfólio composto pelo ativo-objeto mais a Put. Conforme mostra Lemgruber (1999), a mesma estratégia pode ser obtida através da troca da posição comprada na Put por uma posição comprada no ativo livre de risco e em Calls. Portanto:

$$S + P - aC = Xe^{-rT} + bC \quad (2.12)$$

onde

$$a = P / C$$

$$b = (1 - a)$$

A Equação 2.12 do CRPI mostra claramente seu objetivo. A venda de a Calls gera exatamente o montante necessário para que, financeiramente, a carteira seja composta apenas pelo ativo-objeto. Da mesma forma, observa-se que, em caso de alta, as Calls vendidas serão responsáveis por comprometer parte do retorno obtido pelo ativo-objeto.

2.2.2 A quem se destina o Seguro Dinâmico de Portfólio

Apesar de sugerir como avaliar opções e, portanto, o seguro de portfólio, a teoria de apreçamento de opções não sugere a natureza de investidores que se beneficiariam da compra de opções ou de seguro. Para que um investidor possa comprar uma estratégia de Seguro Dinâmico de Portfólio é necessário que, na ponta inversa, existam investidores dispostos a vendê-lo, tanto através da venda de opções de venda como do completo Seguro Dinâmico de Portfólio.

Em seu trabalho, Leland (1980) chega a duas conclusões centrais a respeito dos investidores que mais se beneficiariam do seguro de portfólio. São elas:

- 1) Investidores que têm expectativas sobre os retornos na média do mercado, mas cuja tolerância ao risco aumenta com a sua riqueza mais rapidamente que a média do mercado, desejarão obter o seguro de portfólio.
- 2) Investidores que têm tolerância ao risco na média do mercado, mas cujas expectativas sobre os retornos são mais otimistas que o mercado, desejarão obter o seguro de portfólio.

Investidores institucionais que se encaixam na classe (1) incluiriam os fundos de pensão que, a todo custo, devem exceder um determinado valor mínimo. Na classe (2) estariam incluídos fundos de investimento diversificados cuja expectativa de retornos fosse superior ao mercado. Nesse caso, os fundos estariam explorando sua capacidade de atingir retornos superiores, mantendo um grau tolerável de risco.

2.3 FONTES DE INCERTEZA NA APLICAÇÃO DA ESTRATÉGIA OBPI

Conforme dito anteriormente, a estratégia OBPI proporciona ao investidor de maneira satisfatória a proteção do principal investido, ao mesmo tempo em que preserva a oportunidade de capturar parte dos retornos do ativo-objeto. Porém, devido ao processo de realocação freqüente das posições em carteira, surgem alguns problemas. Basicamente, as características de comportamento dos preços do ativo-objeto levantam uma série de incertezas que geram erros no processo de replicação. De fato, as discontinuidades nos preços (saltos) em momentos de *stress* no mercado, a volatilidade inconstante e desconhecida, o comportamento das taxas de juros e os custos de transação inserem variáveis de difícil controle no *hedge* dinâmico.

O objetivo principal deste trabalho é testar uma estratégia alternativa que busque minimizar parte dos efeitos nocivos (erros) gerados pelos fatores acima. Dessa forma, faz-se bastante importante a compreensão dos fatores e seus impactos na estratégia de alocação dinâmica de ativos.

O Processo com Saltos

A possibilidade de abertura de *gaps* ou movimentos em saltos no preço do ativo-objeto determina uma qualidade que as opções verdadeiras possuem e que não pode ser replicada pelas opções sintéticas: *pay-off* independente do salto.⁷ Quando o preço de um ativo sofre uma mudança brusca e repentina, o mesmo ocorre imediatamente nas opções verdadeiras e, portanto, suas características de proteção se mantêm. No caso de opções sintéticas, onde a revisão contínua é impossível, a magnitude do salto pode inviabilizar a correção através da mudança nas posições no ativo-objeto e no ativo livre de risco. Tal fato é salientado nos trabalhos de Rubinstein (1985) e Abken (1987).

Em seu trabalho, Black & Scholes (1972) assumem que o *hedge* dinâmico é revisto numa base diária. Quando isso é feito, o retorno do portfólio segurado incorpora uma componente de risco devido às mudanças de preço entre uma revisão e a revisão seguinte. Os autores sugerem, então, que o efeito do rebalanceamento discreto pode ser minimizado utilizando-se uma carteira diversificada. Em estudo de grande importância, Boyle & Emanuel (1980) aprofundam as conseqüências dos saltos na replicação de opções e concluem que procedimentos para que a assimetria dos retornos seja considerada melhoram a distribuição dos retornos segurados.

Volatilidade

Rubinstein & Leland (1981) alertam para o impacto causado na replicação de opções pela incerteza na estimação da volatilidade. Além disso, Rubinstein (1985) e Asay & Edelsburg (1986) argumentam em seus trabalhos que a maior fonte de diferença de resultados entre seguros de portfólio que utilizam opções verdadeiras e aqueles que utilizam opções sintéticas está na volatilidade. De fato, a inconstância da volatilidade não apenas impacta os preços de mercado, como

⁷ Utilizou-se a denominação opções verdadeiras para as opções efetivamente negociadas em bolsa de forma a diferenciá-las das opções sintéticas.

também é de difícil mensuração para o *hedge* dinâmico. Rubinstein (1985) argumenta ainda que quanto maior a volatilidade, menos as estratégias de alocação dinâmica de ativos conseguem capturar os retornos dos ativos-objeto.

Segundo Abken (1987), a volatilidade deve ser revista toda vez que os parâmetros da opção sintética o forem. Assim, periodicamente, antes de ajustar a carteira, o investidor deveria verificar alterações na volatilidade do ativo-objeto e incluí-las no apreamento da opção sintética.

Em trabalho mais recente, Coleman, et al. (1999) reconhecem o papel da volatilidade e procuram testar a melhor forma de estimá-la. Os autores avaliam a estimação através da volatilidade histórica constante, da volatilidade implícita e de uma função de volatilidade de um fator. Os resultados mostraram que a volatilidade histórica constante era inadequada, a volatilidade implícita tinha dependência do *strike* e do tempo para o exercício e a função volatilidade apresentava os melhores resultados na estimação da volatilidade real do ativo-objeto.⁸

Juros

Dificuldade na estimação da correta taxa de juros futura até o vencimento insere uma forte incerteza na replicação de opções. Rubinstein (1985) alega que, devido a pouca volatilidade das taxas de juros de curto prazo no mercado norte-americano, esta fonte de incerteza seria desprezível. No mercado brasileiro, porém, tal incerteza pode ser determinante no sucesso ou insucesso da estratégia. Neste trabalho, a dificuldade na previsão da correta estrutura a termo do mercado de juros será analisada como uma das fontes de erros do modelo proposto.

⁸ A volatilidade implícita forma o chamado *Smile da Volatilidade* em função de diferentes *strikes* e tempos para o exercício.

Custos de Transação

O processo de replicação traz automaticamente o problema dos custos de transação. Para um Seguro Dinâmico de Portfólio perfeito, uma das principais determinações é a revisão constante das posições em carteira na medida em que o preço do ativo-objeto se altera. Tal revisão na prática não é feita constantemente devido ao impacto causado pelos custos de transação. De fato, a acurácia do processo é tão grande quanto maior o número de revisões feitas, porém, os custos também o são.

Vários trabalhos apontam para este problema, como Rubinstein & Leland (1981), Rubinstein (1985), Asay & Edelsburg (1986) e Abken (1987). Leland (1985), em trabalho mais aprofundado sobre o papel dos custos de transação, defende que, formalmente, o argumento de arbitragem utilizado pelo Modelo Black-Scholes para desenvolver o conceito das opções sintéticas não poderia ser feito dada a impossibilidade de revisão constante. O autor propõe ainda um modelo de replicação que limita o crescimento dos custos de transação na medida em que diminui o intervalo de tempo entre as revisões na carteira segurada.

2.4 LETRAS GREGAS

A importância das Letras Gregas, também comumente conhecidas como “as Gregas” ou Instrumentos de Hedge, vem da necessidade de se medir o risco de uma posição em opções. De fato, ao se comprar ou vender uma posição em opções, a menos que o investidor consiga cobrir a posição com uma operação inversa no mercado, ele estará sujeito aos riscos inerentes a variações no preço do ativo-objeto. Neste caso, as Letras Gregas são importante instrumento para medir as diferentes dimensões do risco da opção, ajudando o investidor a decidir se o grau de exposição é aceitável ou não.

No caso do presente trabalho, as Letras Gregas têm importância não em relação a posições descobertas, mas devido às diversas incertezas associadas ao *hedge* dinâmico como visto na seção anterior. Após a descrição das características de cada uma das Letras Gregas, o leitor estará apto a compreender suas diferentes esferas de importância. Grande parte da descrição teórica sobre as Letras Gregas apresentada nesta seção foi baseada no trabalho de Hull (2000).

2.4.1 Delta

O delta (Δ) de uma opção é definido como sendo a taxa de variação no preço da opção em função de uma variação no preço do ativo-objeto. Trata-se, na verdade, do coeficiente angular da curva que relaciona o preço da opção com o preço do ativo-objeto. Como pode ser visto na Figura 5, onde para o preço A do ativo-objeto a opção tem preço igual a B, uma variação X no preço do ativo-objeto resulta numa variação de aproximadamente $Y = \Delta X$ no preço da opção.

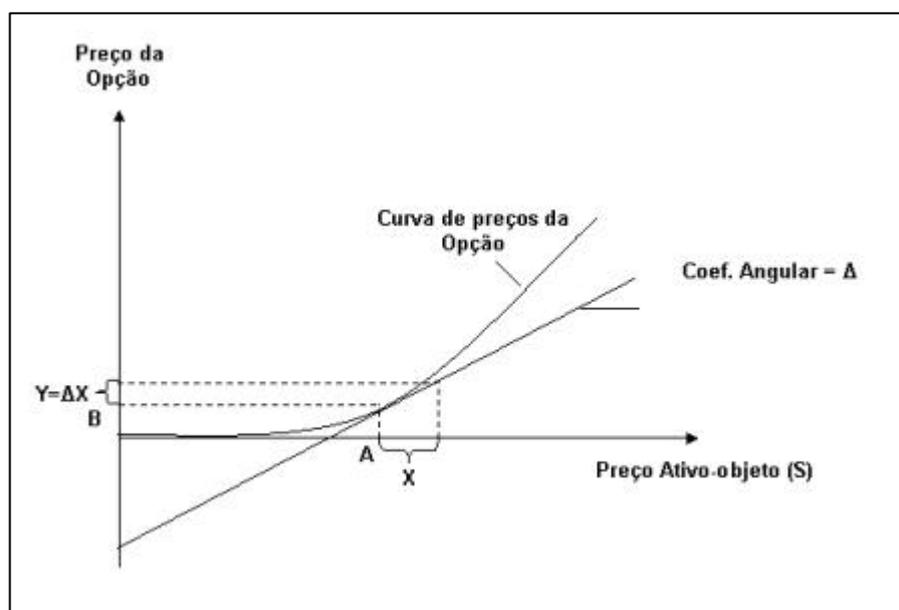


Figura 5 – Delta de uma opção de compra

Expressado matematicamente, o delta é a derivada parcial do preço da ação em relação ao preço do ativo-objeto. É fácil intuir, portanto, que o sinal do delta de uma opção de compra é positivo e o do delta de uma opção de venda é negativo.

$$\Delta_C = \frac{\partial C}{\partial S} > 0 \quad (2.13)$$

e

$$\Delta_P = \frac{\partial P}{\partial S} < 0 \quad (2.14)$$

Ainda, segundo o Modelo Black-Scholes, o delta de uma opção de compra sobre um ativo que não paga dividendos pode ser calculado por:

$$\Delta_C = N(d_1) \quad (2.15)$$

e o delta de uma opção de venda sobre o mesmo ativo pode ser calculado por:

$$\Delta_P = N(d_1) - 1 \quad (2.16)$$

onde d_1 é definido pela Equação 2.3 e $N(x)$ é a função distribuição de probabilidades acumuladas para uma variável normalmente distribuída com média 0 e desvio padrão 1.

A importância do delta vem das conclusões tiradas a partir do trabalho de Black & Scholes (1973). Estes autores mostraram que é possível criar uma carteira (?) livre de risco formada por uma posição no ativo-objeto e uma posição em uma opção. Trata-se do *hedge* de delta neutro ou, simplesmente, *delta hedging*. Caso a opção seja de compra, a carteira seria formada por uma posição comprada em Δ_C unidades de ativo-objeto e vendida em uma unidade de Call. De outra forma, caso a opção seja de venda, a carteira seria formada por uma posição comprada em $-\Delta_P$ (este valor é positivo dado que $\Delta_P < 0$) no ativo-objeto e

comprada em uma unidade de Put. Tais carteiras seriam montadas das seguintes formas:

$$1) \Delta_1 = [\Delta_C S - C]$$

$$2) \Delta_2 = [-\Delta_P S + P]$$

O delta de um portfólio pode ser calculado somando-se o delta de cada um dos ativos que o compõem. Dessa forma, derivando cada componente das carteiras acima em função de S, podem-se determinar seus deltas e, portanto, o delta resultante da carteira.

$$1) \Delta = [\Delta_C \cdot 1 - \Delta_C] = 0$$

$$2) \Delta = [-\Delta_P \cdot 1 + \Delta_P] = 0$$

O resultado obtido explica a determinação de que os portfólios construídos são livres de risco. De fato, se o delta do portfólio é zero, isso significa que o valor do portfólio não varia quando varia o preço do ativo-objeto, assim como esperado para uma carteira livre de risco. Vale destacar, porém, que, uma vez que o preço do ativo-objeto mude, o valor do delta também mudará. Nesse caso, a carteira deve ser rebalanceada através de compra/venda de ativo-objeto, de forma a retornar para a posição delta neutro.

Para o presente trabalho, o delta tem participação fundamental, uma vez que uma carteira delta neutro pode ser agregada a uma outra carteira qualquer sem afetar a sua variação em função do ativo objeto. Tal fato é verdadeiro desconsiderando-se os efeitos das incertezas relacionadas à necessidade de rebalanceamento. Dessa forma, pode-se montar uma carteira com as demais Letras Gregas diferentes de zero e com o delta igual a zero e somá-la a um portfólio segurado dinamicamente de forma a agregar as propriedades de tais fatores de risco (Letras Gregas) sem, no entanto, alterar o padrão de variação do valor do portfólio associado à variação do ativo-objeto.

Becker & Lemgruber (1989), testando a eficiência do mercado de opções brasileiro durante o Plano Cruzado, desenvolveram uma metodologia através da estratégia de carteira delta neutro que será muito útil a este trabalho. Em seu trabalho, os autores construíram uma carteira formada pelo ativo-objeto e por opções de compra sobre este ativo. Supondo que o Modelo Black-Scholes determina o correto preço das opções de compra, a metodologia adotada comparava o preço segundo o modelo ao preço de mercado. Se o preço de mercado fosse superior ao preço do modelo, a opção era considerada superavaliada e era, então, vendida. Caso contrário, se o preço de mercado fosse inferior ao preço obtido pelo modelo, a opção era considerada subavaliada e era, então, comprada. As diferenças nos preços calculados e nos preços de mercado eram resultantes da diferença na estimação de volatilidade do modelo em relação à volatilidade implícita do mercado. O ativo-objeto fechava a composição do delta da carteira de forma a mantê-lo neutro.

O estudo de Becker & Lemgruber (1989) identificou oportunidades de lucros não superiores aos custos de transação e concluiu que o mercado brasileiro poderia ser considerado eficiente. No presente trabalho, a metodologia para decisão de compra e venda de opções subavaliadas e superavaliadas respectivamente será seguida de forma a construir uma carteira delta neutro, com os demais parâmetros de risco de acordo com os parâmetros de risco da carteira original. A vantagem desta metodologia é determinar uma forma inteligente de compra e venda de opções, aproveitando possíveis erros de apreçamento cometidos pelo mercado que permitam uma compensação pelos custos de transação.

2.4.2 Gama

O gama (Γ) de um portfólio é definido como sendo a taxa de variação no delta (Δ) do portfólio em função de uma variação no preço do ativo-objeto. Trata-se, na verdade, da segunda derivada parcial do valor do portfólio em relação ao preço do ativo-objeto.

$$\Gamma = \partial^2 \Pi / \partial S^2 \quad (2.17)$$

Uma maneira muito comum de se referir ao gama é como sendo a curvatura da relação entre os preços do ativo-objeto e da opção. A Figura 6 mostra exatamente o possível erro resultante da não consideração do gama. Como pode ser visto, quando o preço do ativo-objeto se move de S para S' , o portfólio delta neutro assume que o preço da Call varia de C para C' , quando, na verdade, ele se move de C para C'' . A diferença entre C' e C'' é o erro resultante da não consideração da curvatura e sua magnitude é tão grande quanto seja o gama. Vale destacar que o mesmo processo de desvio pode ser observado para Puts.

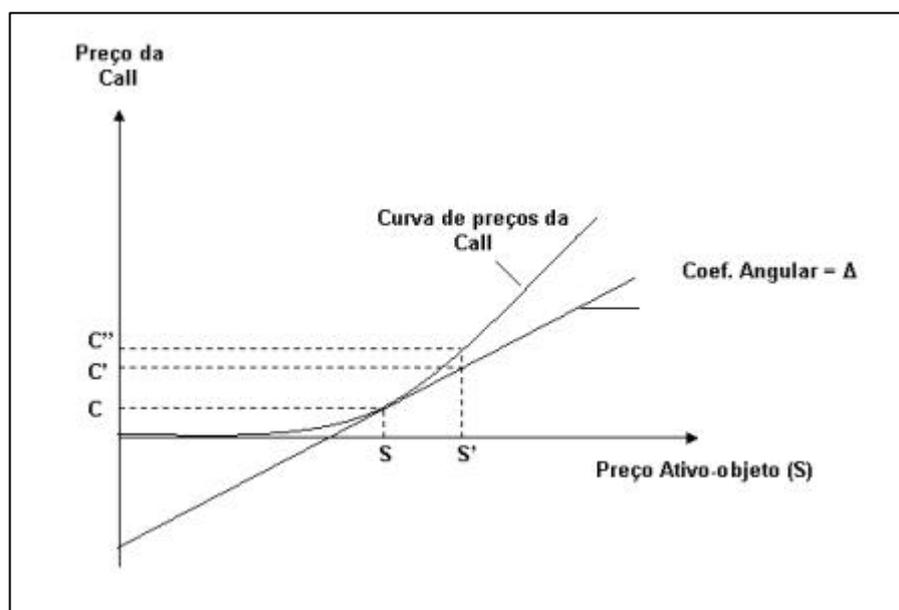


Figura 6 – Erro devido ao delta *hedging* puro

O gama de uma opção de compra ou venda sobre um ativo que não paga dividendos pode ser calculado por:

$$\Gamma = \frac{N'(d_1)}{Ss\sqrt{T}} \quad (2.18)$$

onde

$$N'(d_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} \quad (2.19)$$

e d_1 é definido pela Equação 2.3, S é o preço atual do ativo-objeto, s é a volatilidade dos preços do ativo-objeto, T é o tempo restante até o vencimento da opção e $N(x)$ é a função distribuição de probabilidades acumuladas para uma variável normalmente distribuída com média 0 e desvio padrão 1.

O valor do gama representa a sensibilidade do delta a variações no preço do ativo-objeto. Assim, quando o gama tem baixo valor, o delta varia pouco em função do preço do ativo-objeto e, portanto, ajustes em portfólios dinâmicos não necessitam ser muito freqüentes. Por outro lado, se o gama tem alto valor, torna-se bastante arriscado deixar um portfólio dinâmico inalterado por um período longo de tempo, dado que o ajuste poderia não alcançar o correto valor da opção verdadeira. O gama *hedging*, ou *hedge* de gama neutro, é importante neste aspecto, pois procura eliminar a variação do portfólio em função de variações no delta. Sem a curvatura, o risco de rebalanceamento diminui sensivelmente. No caso do presente trabalho, como será visto adiante, o objetivo não é eliminar o gama do portfólio, mas igualá-lo ao da Put sintetizada que atua como seguro.

2.4.3 Teta

O teta (T) de um portfólio é definido como sendo a taxa de variação no valor do portfólio em função da passagem do tempo, quando todo o resto permanece constante. Equivalentemente, pode ser descrito como a variação no

valor do portfólio em função da diminuição do tempo para o vencimento de cada um dos derivativos pertencentes a este portfólio.

$$\Theta = \partial\Pi / \partial t \quad (2.20)$$

O teta de uma opção de compra sobre um ativo que não paga dividendos pode ser calculado por:

$$\Theta = -\frac{SN'(d_1)\mathbf{s}}{2\sqrt{T}} - rXe^{-rT}N(d_2) \quad (2.21)$$

onde $N'(d_1)$ é definido pela Equação 2.19, d_1 é definido pela Equação 2.3, d_2 é definido pela Equação 2.4, S é o preço atual do ativo-objeto, X é o preço de exercício da opção (*Strike*), r é taxa de juros livre de risco, \mathbf{s} é a volatilidade dos preços do ativo-objeto, T é o tempo restante até o vencimento da opção e $N(x)$ é a função distribuição de probabilidades acumuladas para uma variável normalmente distribuída com média 0 e desvio padrão 1.

Para uma opção de venda sobre um ativo que não paga dividendos, o teta pode ser calculado por:

$$\Theta = -\frac{SN'(d_1)\mathbf{s}}{2\sqrt{T}} + rXe^{-rT}N(-d_2) \quad (2.22)$$

Normalmente, o teta é negativo. Isso ocorre, pois na medida em que o tempo passa a opção vai tendo menos valor. Na verdade, o teta não pode ser considerado um parâmetro de *hedge* do mesmo tipo do delta, dado que existe incerteza quanto ao valor futuro dos ativos, mas não há incerteza quanto à passagem do tempo. Dessa forma, faz sentido fazer um *hedge* contra mudanças nos preços do ativo-objeto, porém o mesmo não se pode dizer em relação ao efeito da passagem do tempo sobre o portfólio de opções.

2.4.4 Rô

O rô (?) de um portfólio é definido como sendo a taxa de variação no valor do portfólio em função de uma variação na taxa de juros. Ele mede a sensibilidade do valor do portfólio à taxa de juros.

$$r = \partial \Pi / \partial r \quad (2.23)$$

O rô de uma opção de compra sobre um ativo que não paga dividendos pode ser calculado por:

$$r = XTe^{-rT}N(d_2) \quad (2.24)$$

onde d_2 é definido pela Equação 2.4, X é o preço de exercício da opção (*Strike*), r é taxa de juros livre de risco, T é o tempo restante até o vencimento da opção e $N(x)$ é a função distribuição de probabilidades acumuladas para uma variável normalmente distribuída com média 0 e desvio padrão 1.

Para uma opção de venda sobre um ativo que não paga dividendos, o rô pode ser calculado por:

$$r = -XTe^{-rT}N(-d_2) \quad (2.25)$$

O rô não é o principal parâmetro de *hedge* a ser monitorado, principalmente em economias com maior estabilidade, onde mudanças nas taxas de juros têm impacto limitado nos preços dos ativos. No caso brasileiro, onde a volatilidade das taxas de juros é elevada, o rô recebe maior destaque. Neste trabalho, portanto, o rô deve receber especial atenção em termos de monitoração, de forma a avaliar tanto seus impactos quanto a possibilidade de controlá-lo.

2.4.5 Vega

Até o presente momento, a volatilidade do ativo-objeto foi considerada constante. Na prática, a volatilidade muda com passar do tempo. Isso significa que o valor do portfólio é sujeito a mudanças devido a variações na volatilidade. O vega (V) de um portfólio é definido como sendo taxa de variação no valor do portfólio em função de uma variação na volatilidade do ativo-objeto.

$$V = \partial\Pi/\partial\sigma \quad (2.26)$$

Se o vega do portfólio é alto em termos absolutos, significa que o portfólio é bastante sensível a mudanças na volatilidade do ativo-objeto. De forma contrária, se o vega é baixo em termos absolutos, significa que o portfólio é pouco sensível a mudanças na volatilidade do ativo-objeto.

O vega de uma opção de compra ou venda sobre um ativo que não paga dividendos pode ser calculado por:

$$V = S\sqrt{T}N'(d_1) \quad (2.27)$$

onde S é o preço atual do ativo-objeto, T é o tempo restante até o vencimento da opção, $N'(d_1)$ é definido pela Equação 2.19 e d_1 é definido pela Equação 2.3.

Calcular o vega pelo Modelo Black-Scholes e suas extensões, como foi feito acima, pode parecer estranho devido a uma das premissas do modelo que determina a volatilidade como sendo constante. Seria teoricamente mais correto calcular o vega a partir de um modelo cuja volatilidade assumida fosse estocástica. Na prática, entretanto, o vega calculado a partir de um modelo com volatilidade estocástica é muito semelhante ao vega obtido a partir do Modelo Black-Scholes e, portanto, seu esforço extra não se justifica.

2.4.6 A Importância das Letras Gregas

A Estratégia de Seguro Dinâmico de Portfólio, particularmente o *Option Based Portfolio Insurance* utilizado neste trabalho, tem baixo risco (de desvio em relação à estratégia original com opções verdadeiras). A maior parte da incerteza desta estratégia vem da alocação dinâmica dos ativos. Como foi explicado anteriormente neste trabalho, o OBPI, construído através da compra de opções sintéticas, é definido como sendo uma carteira composta do ativo-objeto e do ativo livre de risco (normalmente títulos do governo) que é rebalanceada diariamente de forma a manter a relação determinada na Equação 2.9. Dessa forma, destaca-se a importância da correta medida do delta da Put (Δ_p), fundamental a esta equação. O delta da Put será mais bem medido quanto mais acuradas forem as medidas da volatilidade e da taxa de juros livre de risco. O investidor deve ser capaz de identificar, periodicamente, tais valores de forma correta, para estimar o delta da Put e determinar, da melhor forma possível, a alocação dinâmica de seus recursos entre o ativo-objeto e o ativo livre de risco.

Porém, o delta não é o único parâmetro de risco a ser considerado. Ao replicar uma carteira segurada $[S + P]$ através da compra e venda sistemática de posições no ativo-objeto e no ativo livre de risco (OBPI), são inseridas incertezas resultantes de variações nos outros parâmetros que compõem o preço da opção de venda. Pode ser mostrado, a partir das fórmulas desenvolvidas neste trabalho para o cálculo das Letras Gregas, que o delta do ativo-objeto é sempre igual a 1 e as demais Letras Gregas deste ativo serão sempre iguais a 0. Para o ativo livre de risco, todas as Letras Gregas são iguais a 0. Portanto, a carteira replicada na estratégia OBPI terá sempre o mesmo delta da carteira original $[S + P]$, exatamente como esperado, o que é bom. Porém, a carteira original terá os parâmetros de risco gama, teta, rô e vega iguais aos parâmetros da Put que compõe tal carteira (lembrando que estes parâmetros são iguais a 0 para o ativo-objeto), enquanto que a carteira replicada terá estes mesmos parâmetros iguais a 0. O fato de cada um dos parâmetros risco gama, teta, rô e vega da carteira replicada ser igual a 0 determina que esta não reage a mudanças nos preços do

ativo-objeto de maneira exatamente igual à carteira original, tendo, portanto, maior grau de incerteza, ou seja, risco.

Lembrando as diversas fontes de incerteza associadas ao Seguro Dinâmico de Portfólio e descritas acima, pode-se visualizar os problemas decorrentes do não alinhamento das Letras Gregas da carteira replicada em relação à carteira original. A carteira original reage idealmente aos saltos que podem ocorrer nos preços do ativo-objeto, bem como às mudanças na volatilidade e nos juros. A carteira replicada, por sua vez, terá reações incertas quando configuradas estas mudanças. Justifica-se, portanto, o desenvolvimento de um método que procure alinhar os parâmetros de risco da carteira replicada aos parâmetros de risco da carteira original idealizada.

De todos os parâmetros de risco, o gama tem a maior importância, pois determina a magnitude do erro de construção da carteira replicada. Dillman & Harding (1985) defendem a monitoração do gama e consideram que o controle do delta é insuficiente. Os autores justificam sua posição argumentando que a erosão no valor da carteira replicada, determinada pelos erros relativos à curvatura do portfólio, pode gerar resultados inferiores aos esperados. Além disso, por mais freqüente que seja o rebalanceamento, se este considerar apenas o delta, cometerá ainda assim erros de curvatura. Vale destacar ainda a preocupação dos autores quanto a mudanças na volatilidade do ativo-objeto. Nesse caso, o rebalanceamento mais freqüente é citado como sendo a forma de corrigir tais erros, porém sua utilização é limitada pela escalada dos custos de transação. No trabalho de Dillman & Harding (1985) não chega a ser comentada a importância do vega como parâmetro de risco relativo à volatilidade da volatilidade.

A importância do vega é verificada por Hull & White (1987) em seu trabalho, que defende a supremacia de estratégias que tenham os parâmetros de risco delta e vega iguais a 0. Os autores concluem após diversos testes empíricos que, na maior parte das vezes, as estratégias delta/vega neutros são superiores às estratégias delta/gama neutros. Porém, os autores reconhecem a importância

de se considerar ambos os fatores na construção de uma carteira de derivativos. Vale lembrar que tais estratégias se aplicam a carteiras formadas basicamente por derivativos que procuram auferir ganhos nos erros de apreçamento do mercado e não têm o mesmo perfil de investimento do Seguro Dinâmico de Portfólio.

Bookstaber & Langsam (1988) reforçam a importância de se considerar a curvatura de uma opção através de seu gama. Os autores lembram que é possível reduzir a incerteza no processo de replicação de opções ajustando o gama da carteira replicada, através da compra de opções, para que este tenha o mesmo gama da carteira original. Em seu trabalho, porém, não são apresentados resultados que comprovem a eficácia de tal tratamento, bem como não é citado trabalho algum que o tenha feito.

No caso deste trabalho, o foco da estratégia de compra alternativa de Calls, para igualar os parâmetros de risco da carteira replicada aos parâmetros de risco da carteira original, será no gama. Ainda assim, os demais parâmetros de risco serão considerados no experimento e deverão ser aproximados ao máximo dos parâmetros da carteira original. Porém, o algoritmo desenvolvido tentará igualar em primeiro lugar o gama, para depois, se possível, aproximar os demais parâmetros. A escolha do gama se deveu aos diversos estudos citados que sustentam de forma categórica sua importância no processo de replicação do Seguro Dinâmico de Portfólio.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

O Seguro Dinâmico de Portfólio, baseado na utilização de opções sintéticas, apesar de ser uma estratégia de baixo risco, pode levar a resultados significativamente distintos dos esperados. Tal fato ocorre devido à impossibilidade do alinhamento dos parâmetros de risco da carteira replicada aos parâmetros de risco da carteira original. A utilização da compra alternativa de opções de compra sobre o ativo-objeto surge como forma de alinhar tais parâmetros. Uma vez alinhados os parâmetros, espera-se que a carteira replicada tenha comportamento mais próximo do comportamento da carteira original. Além disso, dada a metodologia de seleção de derivativos para compra e venda, espera-se um lucro extraordinário que venha cobrir os custos de transação que seriam incorridos nesta estratégia.

Dessa forma, considerando o objetivo do presente trabalho, a metodologia aqui apresentada parte da construção de um Seguro Dinâmico de Portfólio, de acordo com a estratégia *Option Based Portfolio Insurance*, para, em seguida, adicionar diariamente à carteira inicial uma carteira paralela com posições compradas e vendidas em Calls que equalizem os parâmetros de risco, ou seja, as Letras Gregas. Vale destacar que, antes da operacionalização diária da carteira adicional de Calls, devem ser determinados os parâmetros de risco a serem alcançados prioritariamente com a compra dos derivativos. Assim, são feitos testes priorizando, além do gama que é o objetivo central deste trabalho, os demais parâmetros de risco, de forma a obter uma indicação daquele que consegue maior alinhamento da carteira replicada com a carteira original.

A metodologia utilizada foi descrita da seguinte forma: no item 3.1 são detalhados o processo de seleção e o resumo dos dados utilizados, as etapas do experimento e as premissas e hipóteses adotadas. Em seguida, no item 3.2, é descrita a construção do Seguro Dinâmico de Portfólio. Por fim, no item 3.3, é descrita a construção da carteira paralela para equalização dos parâmetros de risco. Tal construção passa pelo desenvolvimento de problemas de programação

linear diários, onde é fundamental a determinação do objetivo do problema e de suas restrições para que se possa fazer a seleção de opções de compra que compõem a carteira paralela.

3.1 DESCRIÇÃO GERAL DO EXPERIMENTO

Esta primeira seção do capítulo sobre a metodologia apresenta a seleção dos dados utilizados e uma descrição geral do experimento, de forma a facilitar a compreensão do que foi proposto e realizado, incluindo a descrição das etapas do experimento e as premissas e hipóteses adotadas.

3.1.1 Seleção dos Dados

Para a construção do teste é fundamental a escolha de um ativo-objeto que tenha opções de compra negociadas diariamente com razoável liquidez. Além disso, as opções devem abranger vários preços de exercício, bem como estarem disponíveis para diversos prazos de vencimento. Com um conjunto de opções variado, torna-se mais simples e menos custosa a escolha da carteira paralela. Foram escolhidas as ações da Telemar PN (TNLP4) como sendo o ativo-objeto pelo fato desta ação ser a de maior liquidez na Bolsa de Valores de São Paulo (Bovespa) nos últimos anos. Além disso, a Telemar PN apresenta a maior variedade de opções de compra sendo negociadas com razoável liquidez. Foi levantada junto à Bovespa a base de dados contendo todas as transações efetuadas com as opções de Telemar PN desde o início de seus negócios, ou seja, compreendendo o período de março de 1999 até março de 2003.

Verificou-se, após estudo desta base de dados, que as opções apenas apresentavam liquidez diária e variedade de preços de exercício e datas de vencimento a partir do mês de julho de 2000. Além disso, verificando as características dos fundos de investimento de capital garantido disponíveis no mercado segundo informações da ANBID, determinou-se que o experimento deveria ser desenvolvido com períodos de avaliação de 63 dias úteis

(aproximadamente 3 meses), conforme feito nos fundos de investimento existentes. Além disso, dada a distribuição de proventos feita pela Telemar, os períodos de avaliação não podem conter tais datas, pois não há negociação nos dias posteriores. Dessa forma, partindo-se do mês de julho de 2000 e limitando o estudo a intervalos de 63 dias úteis, chegou-se ao período de 28/07/2000 a 07/11/2002, com os 8 períodos consecutivos e não sobrepostos de avaliação. A Figura 7 apresenta o movimento dos preços do ativo-objeto e o Quadro 1 os 8 intervalos no período estudado.

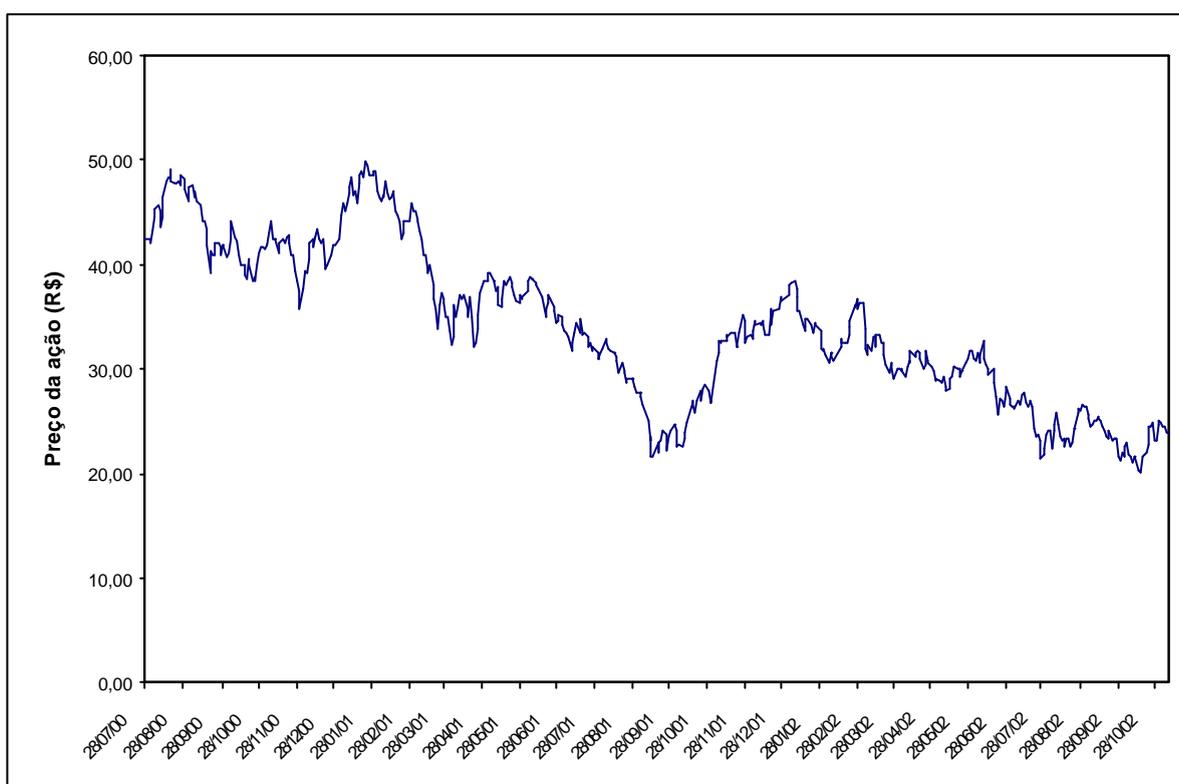


Figura 7 – Comportamento dos preços do ativo Telemar PN (TNLP4) durante o período de 28/07/2000 a 07/11/2002

Quadro 1 – Intervalos de tempo de 63 dias úteis utilizados no experimento

Período	Início	Fim
1	28/07/2000	27/10/2000
2	30/10/2000	02/02/2001
3	05/02/2001	09/05/2001
4	01/06/2001	31/08/2001
5	03/09/2001	05/12/2001
6	06/12/2001	14/03/2002
7	10/05/2002	09/08/2002
8	12/08/2002	07/11/2002

Após a seleção dos intervalos de dados a serem utilizados no experimento, foi feito um tratamento de forma a eliminar as opções negociadas com pouca liquidez. Foram eliminadas todas as opções de compra que apresentaram menos de 30 negócios efetuados durante o dia. Este tratamento teve como objetivo diminuir o efeito da assincronia nos negócios com opções e com o ativo-objeto.

Para o cálculo da volatilidade, fundamental na determinação dos parâmetros de risco, vários modelos poderiam ser utilizados, como a volatilidade histórica, o Modelo EWMA com alisamento exponencial, a volatilidade estocástica e a volatilidade implícita. A estimativa da volatilidade é de certa forma complicada, dada sua variação ao longo do tempo. Dessa forma, escolher intervalos longos e calcular simplesmente a variância histórica torna-se um método bastante impreciso. Além disso, a volatilidade implícita, determinada pelo mercado, é sujeita a erros de apreçamento, assincronismo nas observações e ao efeito *Smile* da volatilidade. Após estudos preliminares, verificou-se que tanto a volatilidade histórica como a volatilidade implícita apresentavam resultados significativamente inferiores ao alisamento exponencial. A volatilidade estocástica, por sua vez, determina uma complexidade computacional que não justifica sua utilização. Dessa forma a volatilidade foi diariamente estimada com o alisamento exponencial determinado pelo Modelo EWMA, com parâmetro *lambda* igual a 0,94 e data inicial igual a 04/01/1999. O *lambda* foi escolhido de acordo com o valor sugerido pela RiskMetrics.

A volatilidade diária foi calculada através da seguinte fórmula:

$$Vol_t = \sqrt{I Vol_{t-1}^2 + (1-I) R_{t-1}^2} \quad (3.1)$$

e a volatilidade anual:

$$VA_t = Vol_t \sqrt{252} \quad (3.2)$$

onde I é o parâmetro do alisamento exponencial pelo Modelo EWMA (igual a 0,94 no presente trabalho) e R_{t-1} é o retorno logarítmico do ativo-objeto no tempo $t-1$.

Para a determinação da taxa de juros livre de risco, também fundamental no cálculo dos parâmetros de risco, foi utilizada a estrutura a termo determinada pelo mercado futuro de DI de 1 dia. Para cada dia do experimento, foram levantadas junto à Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F) as cotações dos contratos futuros de DI de 1 dia. Tais cotações representam as taxas de juros futuras para o prazo de 1 dia e são expressas em percentuais ao ano. Montada a base de taxas de juros para todo o período do experimento, estimou-se as taxas de juros diariamente para o prazo em dias corridos até o vencimento do Seguro Dinâmico de Portfólio através da interpolação das taxas de juros disponíveis e determinadas pela estrutura a termo pelo método *Cubic Spline*, conforme descrito no trabalho de Varga (2000).

Por fim, foi necessária a aplicação diária dos saldos de caixa decorrentes das negociações com as opções de compra. Utilizou-se a taxa DI-Over (taxa diária dos depósitos interbancários) para esta capitalização.

3.1.2 Etapas do Experimento

O experimento desenvolvido foi feito através da construção de duas carteiras paralelas: (i) a do Seguro Dinâmico de Portfólio segundo o modelo OBPI e (ii) a carteira de Calls para adicionar a curvatura determinada pelo gama. As duas carteiras são consideradas paralelas, pois foram administradas de forma totalmente independente. O valor da carteira final diária resulta da soma dos valores individuais das carteiras paralelas.

Construção do Seguro Dinâmico de Portfólio

Esta etapa consistiu no desenvolvimento de carteiras seguradas pela estratégia OBPI para cada uma das janelas determinadas pelos dados utilizados. Assim, simulou-se a aplicação da estratégia de forma pura, ou seja, sem nenhuma curvatura na carteira. Além disso, simulou-se também, para as mesmas janelas, a carteira teórica, de forma a se obter um fluxo de caixa que representasse a carteira ideal objetivada pela estratégia. Tal carteira seria formada pelo ativo e sua opção de venda, caso existisse, com preço de exercício igual ao preço do ativo-objeto na data início da carteira e com vencimento na data fim da carteira.

O objetivo da construção do Seguro Dinâmico de Portfólio (OBPI) e da carteira teórica foi desenvolver uma comparação entre o realizado e o esperado, bem como avaliar os erros obtidos sem a consideração da curvatura da carteira. Uma vez que essas informações estavam prontas, pôde-se avaliar a eficácia da utilização da carteira paralela de opções de compra para equalizar os parâmetros de risco, nomeadamente o gama, e adicionar, portanto, a curvatura à carteira.

Construção da Carteira para Adicionar a Curvatura

O experimento principal foi, portanto, desenvolver uma carteira formada pelas Calls disponíveis no mercado para adicionar a curvatura da Put da carteira teórica ao Seguro Dinâmico de Portfólio. Construiu-se um modelo, baseado numa série de premissas que serão descritas mais detalhadamente no decorrer deste capítulo, onde foram compradas e vendidas opções de compra diariamente de forma que o gama resultante desta carteira igualasse o gama da Put simulada na carteira teórica.⁹

Para esta etapa, foi fundamental determinar algumas regras de negociação de forma a tornar o experimento o mais real possível. Para cada opção, foi fixado um limite de negociação baseado em sua liquidez diária e na quantidade de Puts necessárias à formação da carteira teórica. Isso foi feito para que o risco da carteira paralela estivesse dentro de padrões aceitáveis e para que o número de contratos de uma opção de compra, comprados ou vendidos na simulação de um dia, não ultrapasse uma determinada fração do total de contratos desta opção efetivamente negociados nesse mesmo dia. Além disso, também foram desenvolvidas regras para os períodos próximos do exercício das opções, de forma que a rolagem das mesmas fosse o menos traumática possível para a carteira.

Uma vez construída a carteira paralela, e sendo esta delta neutra, pôde-se testar também a eficiência do mercado brasileiro de opções. Tal fato ocorreu, pois a estratégia de negociação utilizada baseou-se na compra de opções supostamente subvalorizadas pelo mercado e na venda de opções supostamente supervalorizadas pelo mercado. Objetivou-se, nesse caso, verificar se a estratégia

⁹ Como não existe opção de venda sobre o ativo-objeto em questão, simulou-se a existência de uma opção de venda com variáveis idealmente construídas para fazer o *hedge* da posição comprada no ativo-objeto. Convencionou-se chamá-la Put simulada e não deve ser feita confusão com a Put Sintética que é, na verdade, uma carteira construída para apresentar resultado semelhante ao de uma opção de venda real. A Put simulada foi utilizada como parâmetro e não pode ser construída.

de equalização do gama proporcionou lucros de forma a compensar os custos de transação que foram desconsiderados no trabalho. Trata-se de um objetivo secundário no desenvolvimento deste trabalho, mas que foi explorado devido a sua relevância.

3.1.3 Premissas Adotadas e Hipóteses Testadas

Fez-se necessária a adoção de algumas premissas que nortearam o trabalho do começo ao fim. Além disso, foram levantadas hipóteses a serem testadas pelo experimento.

Premissas adotadas

- a) É permitida a venda a descoberto de opções de compra;
- b) Os preços de fechamento não apresentam assincronismo relevante;
- c) Não há custos de transação ou impostos;
- d) Não há pagamento de dividendos;
- e) A taxa livre de risco para os diversos vencimentos é representada pela estrutura a termo dos contratos futuros de DI de 1 dia.

Hipóteses testadas

- a) Hipótese principal: O comportamento do Seguro Dinâmico de Portfólio pode ser melhorado através da adição da curvatura determinada pelo gama, aproximando-se, portanto, do comportamento da carteira teórica $[S + P]$;
- b) Hipótese secundária: A estratégia de negociação baseada na compra e venda de opções de compra subvalorizadas e supervalorizadas respectivamente proporciona lucros extraordinários de forma a compensar os custos de transação que não são considerados no experimento.

3.2 CONSTRUÇÃO DO SEGURO DINÂMICO DE PORTFÓLIO

O Seguro Dinâmico de Portfólio foi construído segundo a estratégia OBPI, pois se trata da estratégia mais conhecida e utilizada no mercado. Foi determinada, então, uma disponibilidade de recursos da ordem de R\$ 1.000.000,00 mais o custo da Put Sintética de cada período. Partindo-se deste valor, objetivou-se garantir, através do Seguro Dinâmico de Portfólio o capital inicial de R\$ 1.000.000,00 ao final do período.

Uma vez construído o Seguro Dinâmico de Portfólio, montou-se a carteira teórica para avaliar o desvio daquela carteira em relação ao comportamento objetivado. Dessa forma, pôde-se constatar diariamente a imprecisão da estratégia que considera apenas o delta e tem os demais parâmetros de risco iguais a zero.

3.2.1 Construção da Carteira Segurada pela Estratégia OBPI

A estratégia OBPI partiu da determinação do preço de exercício da Put simulada. Este preço é igual ao preço do ativo-objeto no primeiro dia de negociação. Uma vez determinado o preço de exercício e sabendo-se os valores diários do preço do ativo-objeto, da volatilidade anual estimada e da taxa de juros até o vencimento, calculou-se o delta da Put simulada.

Partindo-se da Equação 2.9 da estratégia OBPI, conclui-se que a carteira deve ter uma posição comprada em $(1 + \rho_p)$ no ativo-objeto e uma posição comprada no ativo livre de risco. Como a estratégia de rebalanceamento é feita a intervalos de 1 dia e não continuamente, não é possível que a carteira tenha exatamente as posições compradas determinadas pela Equação 2.9. Se for comprada a posição no ativo-objeto, a posição comprada no ativo livre de risco será determinada pelo montante que sobrar em caixa. Da mesma forma, se optar por comprar exatamente a posição no ativo livre de risco, a posição comprada no ativo-objeto será determinada também pelo saldo de caixa que representará

apenas uma aproximação dos montantes determinados idealmente na Equação 2.9.

Como o comportamento do Seguro Dinâmico é basicamente determinado pelo delta da carteira e este é proveniente da posição comprada no ativo-objeto, optou-se por manter exata a posição no ativo-objeto e assumir o saldo de caixa valorizado diariamente pela taxa de juros como sendo a posição no ativo livre de risco. É exatamente neste ponto que se verifica o desvio da estratégia OBPI em relação a uma carteira teórica segurada por uma opção de compra real.

A cada dia, portanto, foi determinado o delta da Put simulada e verificado o montante do ativo-objeto a ser comprado ou vendido. O resultado dessa compra ou venda era, então, adicionado ao caixa que foi capitalizado diariamente como se fosse uma posição comprada em Futuro de DI de 1 dia. O valor da carteira diariamente foi sempre igual à soma das posições compradas no ativo-objeto e no ativo livre de risco.

3.2.2 Construção da Carteira Teórica

A carteira teórica teve construção mais simples. Com os dados diários de preço de exercício, preço do ativo-objeto, volatilidade anual estimada e taxa de juros até o vencimento, calculou-se o valor de uma opção de venda ideal para assegurar o valor do primeiro dia no vencimento da estratégia, a Put simulada. Adicionou-se a este valor o preço do ativo-objeto diariamente para se obter o valor diário de uma carteira [S + P].

Além disso, calculou-se a quantidade de ativo-objeto para se obter uma carteira no valor de R\$ 1.000.000,00 na data inicial. Para tanto, bastou dividir o valor de R\$ 1.000.000,00 pelo preço do ativo-objeto na data inicial. Multiplicando-se o valor desta carteira simulada pela quantidade necessária de ativo-objeto, tem-se o valor diário da carteira teórica. Esta quantidade é constante até o final da estratégia. Vale destacar ainda que, no primeiro dia, este valor é superior a R\$ 1.000.000,00, pois inclui o custo do seguro, ou seja, o custo da Put simulada. No

último dia, o valor da carteira teórica é determinado pela Equação 2.11, ou seja, pelo máximo entre o preço de exercício e o preço do ativo-objeto neste dia, multiplicado pela quantidade de ativo-objeto determinada na data inicial.

De posse do valor diário, tanto da carteira segurada dinamicamente, quanto da carteira teórica, calculou-se o desvio da estratégia OBPI em relação a uma carteira ideal formada pelo ativo-objeto e por uma opção de venda. A correção deste desvio foi, portanto, o objetivo principal deste trabalho.

3.3 CONSTRUÇÃO DA CARTEIRA PARA ADICIONAR A CURVATURA

Para adicionar a curvatura determinada pelo gama, construiu-se uma carteira formada apenas por opções de compra sobre o ativo-objeto negociadas na Bovespa durante o período de estudo. O objetivo desta carteira é equalizar o gama, desconsiderado no Seguro Dinâmico de Portfólio. Uma vez que os parâmetros de risco de uma carteira são iguais à soma dos parâmetros de risco individuais dos ativos que a compõem, a carteira paralela de opções de compra deve ter parâmetros de risco que, somados aos da carteira segurada dinamicamente, igualem os parâmetros de risco da carteira teórica ideal $[S + P]$.

A carteira paralela foi construída com parâmetros de risco, conforme mostra o Quadro 2 abaixo. Como pode ser visto, a carteira final, além de igualar o delta da carteira teórica ideal, iguala também o gama e adiciona os demais parâmetros de risco da carteira de Calls. Vale destacar que cada um destes parâmetros deve ser controlado de forma a aproximarem seus valores aos valores dos parâmetros de risco da carteira teórica. Caso estes parâmetros descolem muito da carteira teórica, a correção da curvatura pode embutir riscos que a façam perder a validade.

Quadro 2 – Parâmetros de risco da carteira segurada após equalização do gama

Parâmetros de Risco	Seguro Dinâmico OBPI (A)	Carteira de Calls (B)	Carteira Total (A + B)	Carteira Teórica Ideal
Delta	$(1 + \rho)$	0	$(1 + \rho)$	$(1 + \rho)$
Gama	0	Γ	Γ	Γ
Teta	0	Θ	Θ	Θ
Ro	0	ρ	ρ	ρ
Vega	0	V	V	V

Para se obter os parâmetros de risco, conforme o Quadro 2 indica, é necessário determinar quais opções de compra serão compradas ou vendidas e em que volumes tais negociações serão feitas diariamente. Conforme dito anteriormente, a decisão de compra ou venda é feita em função da diferença entre o preço de mercado e o preço determinado pelo Modelo Black-Scholes. Aquelas opções que estiverem subavaliadas são compradas e aquelas que estiverem superavaliadas são vendidas. O algoritmo utilizado objetivou maximizar o ganho esperado da compra de opções subavaliadas e da venda de opções superavaliadas. O valor a ser maximizado diariamente (MAX_i) foi calculado da seguinte forma:

$$MAX_i = Q_i(S_i^{BS} - S_i) \quad (3.3)$$

onde Q_i é a quantidade de opções compradas ou vendidas, S_i^{BS} é o preço da opção de compra calculado pelo Modelo Black-Scholes e S_i é o preço de mercado (fechamento) da opção de compra.

Vale notar que quando a opção encontra-se subavaliada, o preço do modelo é maior que o preço de mercado e a quantidade comprada é positiva, logo MAX é positivo. Da mesma forma, quando a opção encontra-se superavaliada, o preço do modelo é menor que o preço de mercado e a posição comprada é negativa, mantendo MAX novamente positivo.

Além disso, algumas restrições precisam ser impostas, pois não se pode negociar diariamente a volumes indefinidamente grandes. Dada a dificuldade em

se determinar quanto uma instituição é em média capaz de negociar por dia, e qual a sua participação de mercado, arbitraram-se, considerando tais números razoáveis, dois limites de negociação diária por opção de compra. Os limites de liquidez (LL) impostos determinaram que cada opção poderia ser negociada até no máximo 1% ou 5% do volume efetivamente negociado desta opção no dia no mercado, dando assim dois cenários com restrições severas ou brandas, respectivamente.

Outra questão a ser considerada foi o risco em se construir a carteira paralela. Para simplificar o experimento, e não sendo objetivo do trabalho desenvolver nenhuma metodologia de análise de risco de opções, arbitrou-se um limite de risco (LR) que determinou que cada opção apenas poderia ser mantida em carteira até o limite de 50% da quantidade de Puts simuladas inicialmente determinada pela divisão do valor de R\$ 1.000.000,00 pelo preço do ativo-objeto na data inicial.

Finalmente, não foi permitido à carteira paralela tomar posições vendidas no ativo livre de risco para executar a correção da curvatura. Dessa forma, o caixa da carteira paralela teve de se manter do início ao fim maior ou igual a zero.

Como pode ser notado, as condições descritas acima descrevem exatamente um Problema de Programação Linear, onde objetiva-se maximizar o ganho obtido nas negociações, impondo-se uma série de restrições para considerar a equalização dos parâmetros de risco, os limites de liquidez, o limite de risco e o caixa positivo, variando-se a quantidade comprada de cada opção disponível no dia no mercado. Dessa forma, foi desenvolvida uma simulação onde diariamente o algoritmo de resolução do Microsoft Excel (Solver) resolve o Problema de Programação Linear determinado pelo Quadro 3 abaixo.¹⁰

¹⁰ Conforme informado pela Microsoft, o Solver resolve problemas lineares e de inteiros utilizando o método simplex com limites sobre as variáveis e o método de desvio e limite, implementado por John Watson e Dan Fylstra, da Frontline Systems, Inc.

Quadro 3 – Configuração do Problema de Programação Linear Diário

Objetivo:	Maximizar lucro obtido pela diferença no apreçamento das opções de compra.	Maximizar MAX
Restrições:	1) Manter delta da carteira de opções de compra igual a zero. 2) Manter gama da carteira de opções de compra igual ao gama da Put simulada. 3) A quantidade em valores absolutos negociada diariamente deve ser inferior ao limite de liquidez para cada opção de compra i . 4) A quantidade em valores absolutos de cada opção de compra i carregada em carteira de um dia para o outro deve ser inferior ao limite de risco. 5) O caixa resultante das operações com opções de compra deve ser sempre maior ou igual a zero.	$\Delta_{\Pi} = 0$ $\Gamma_{\Pi} = \Gamma_p$ $-LL_i \leq Q_i \leq LL_i$ $-LR \leq QC_i \leq LR$ $Caixa \geq 0$
Variáveis:	Variar a quantidade comprada e vendida de cada opção de compra	Q_i

O experimento consistiu, portanto, em diariamente calcular o preço das opções negociadas e montá-las num Problema de Programação Linear com as características acima. Uma vez resolvido o problema, a carteira era consolidada com a posição do dia anterior, o caixa era fechado e capitalizado 1 dia pela taxa DI-Over. Imprescindível notar que, por diversas vezes, não era possível negociar todos os títulos em carteira pela falta de liquidez em determinado dia. Neste caso, os títulos eram apenas considerados no problema em função de seus parâmetros de risco, porém não eram negociados e seguiam em carteira para o próximo dia.

Um outro ponto a ser considerado foi a rolagem das opções que fossem vencendo. Optou-se por não forçar a rolagem das opções antes do vencimento, pois neste dia elas tinham seu valor exato determinado pela Equação 2.10.

Por fim, o experimento procurou preservar acima de tudo o delta da carteira total. Se, por algum motivo, a tentativa de equalizar a curvatura acabasse por comprometer o delta da carteira total ao não conseguir zerar o delta da carteira de Calls, o Problema de Programação Linear era alterado de forma que o objetivo fosse igualar este delta a zero e a restrição de igualar o gama não mais existisse. Dessa forma, sempre que o delta foi comprometido, o experimento procurou trazê-lo de volta ao valor correto.

O resultado final do experimento é observado no valor diário da carteira de Calls que corresponde ao valor das posições nas opções de compra mais o valor em caixa. A soma deste valor com o valor da carteira OBPI simulada deve gerar uma carteira diariamente mais próxima da carteira teórica $[S + P]$, objetivo deste trabalho.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos levantaram alguns questionamentos acerca do comportamento de alguns parâmetros do experimento e suas implicações. De forma a responder tais questionamentos, o comportamento das variáveis em questão foi, então, estudado numa tentativa de explicar seus impactos. Assim, este capítulo se inicia apresentando os resultados obtidos, tanto para o Seguro Dinâmico de Portfólio (OBPI), quanto para a carteira paralela de Calls. Em seguida, o comportamento dos parâmetros volatilidade e liquidez é mais bem estudado, de forma a se obter uma análise mais precisa de seu impacto sobre os resultados.

4.1 RESULTADO DA CORREÇÃO DA CURVATURA

O ponto de partida para a análise dos resultados da correção da curvatura encontra-se nos números obtidos com a carteira segurada pura. Antes de rodar as simulações, foram avaliados os desvios da estratégia de Seguro Dinâmico de Portfólio (OBPI), sem considerar o gama. A Tabela 1 resume os desvios obtidos. Para cada período de estudo, foram avaliadas a rentabilidade obtida pela carteira pura, a rentabilidade que seria obtida por uma carteira [S + P] (rentabilidade teórica) e a rentabilidade do ativo-objeto.

Tabela 1 – Resultados obtidos pela Estratégia OBPI pura para Telemar PN
Os valores e rentabilidades da carteira OBPI e da carteira teórica [S + P] foram calculados com 63 dias úteis, taxa de juros livre de risco calculada pela estrutura a termo dos contratos futuros de DI de 1 dia, volatilidade EWMA com λ igual a 0,94 e *Strike* igual ao preço do ativo-objeto na data inicial. O erro % final é a diferença entre a rentabilidade obtida e a rentabilidade teórica.

Período	Início	Fim	Valor Inicial da Carteira	Valor Final da Carteira	Valor Final Teórico	Rentabilidade Obtida	Rentabilidade Teórica	Rentabilidade Ativo-objeto	Erro % Final
1	28/07/2000	27/10/2000	1.068.491,17	1.004.301,00	1.000.000,00	-6,01%	-6,41%	-3,31%	0,43%
2	30/10/2000	02/02/2001	1.061.145,36	1.117.373,74	1.116.446,58	5,30%	5,21%	11,64%	0,08%
3	05/02/2001	09/05/2001	1.054.317,18	996.447,08	1.000.000,00	-5,49%	-5,15%	-18,63%	-0,36%
4	01/06/2001	31/08/2001	1.056.998,15	1.010.725,35	1.000.000,00	-4,38%	-5,39%	-25,05%	1,07%
5	03/09/2001	05/12/2001	1.037.628,99	1.186.667,25	1.250.090,09	14,36%	20,48%	25,01%	-5,07%
6	06/12/2001	14/03/2002	1.077.574,64	1.008.485,07	1.000.000,00	-6,41%	-7,20%	-7,47%	0,85%
7	10/05/2002	09/08/2002	1.054.723,51	977.788,53	1.000.000,00	-7,29%	-5,19%	-11,94%	-2,22%
8	12/08/2002	07/11/2002	1.107.167,24	1.054.649,85	1.011.002,96	-4,74%	-8,69%	1,10%	4,32%

Como era esperado, a Estratégia OBPI, apesar de apresentar resultados próximos aos resultados teóricos, teve sérios desvios, principalmente nos períodos 4, 5, 7 e 8. Além disso, seu principal erro ocorreu no período de maior alta do ativo-objeto, alta esta que não foi capitalizada apropriadamente pela estratégia.¹¹ Destaca-se, ainda, o fato da rentabilidade teórica ter sido ligeiramente negativa em períodos de baixa. Isso ocorreu devido ao custo do seguro. Para que fosse segurado o principal de R\$ 1 milhão, era necessário incorrer nos custos do seguro que, em situação alguma, são completamente recuperados.

Além do erro percentual final, foi também analisado o erro total da estratégia. Este erro, nada mais é do que a soma dos erros quadrados diários. Novamente, tomou-se a carteira teórica [S + P] como ponto de referência e calculou-se os erros percentuais diários da Estratégia OBPI em relação a esta carteira. Os erros percentuais diários foram elevados ao quadrado, de forma a eliminar os números negativos, e somados ao final. Este foi o valor a ser combatido pela estratégia. Mais do que compensar o erro absoluto final, a correção da curvatura teve como objetivo compensar os desvios diários da Estratégia OBPI.

Como explicado anteriormente, foram realizadas duas baterias de simulações, com 1% e 5% de Limite de Liquidez. O objetivo da imposição dos limites foi tornar a simulação mais próxima da realidade e proporcionar alguma sensibilidade dos resultados em relação à liquidez do mercado. A Tabela 2 mostra os resultados obtidos com a correção da curvatura para o Limite de Liquidez igual a 1% e a Tabela 3 mostra os resultados obtidos com a correção da curvatura para o Limite de Liquidez igual a 5%.

¹¹ Este foi também o período onde ocorreu o episódio de 11 de setembro nos Estados Unidos da América, resultando numa forte turbulência no mercado.

Tabela 2 – Resultados obtidos pela correção da curvatura com Limite de Liquidez igual a 1% Os valores finais das carteiras foram estimados sem a correção da curvatura (Estratégia OBPI simples) e com a correção da curvatura (Estratégia OBPI + Calls) e comparados ao valor final da carteira teórica [S + P] de 63 dias úteis, taxa de juros livre de risco calculada pela estrutura a termo dos contratos futuros de DI de 1 dia, volatilidade EWMA com λ igual a 0,94 e $Strike$ igual ao preço do ativo-objeto na data inicial. Os erros quadrados foram calculados para desvios percentuais diários entre as carteiras com e sem correção e a carteira teórica.

Período	Carteira			Rentabilidade			Somatório dos Erros Quadrados sem Correção	Somatório dos Erros Quadrados com Correção
	Valor Final sem Correção	Valor Final com Correção	Valor Final Teórico	sem Correção	com Correção	Teórica		
1	1.004.301,00	995.154,54	1.000.000,00	-6,01%	-6,86%	-6,41%	0,58%	0,40%
2	1.117.373,74	1.129.022,34	1.116.446,58	5,30%	6,40%	5,21%	0,26%	0,38%
3	996.447,08	998.171,26	1.000.000,00	-5,49%	-5,33%	-5,15%	0,13%	0,35%
4	1.010.725,35	1.007.034,92	1.000.000,00	-4,38%	-4,73%	-5,39%	0,83%	0,36%
5	1.186.667,25	1.245.633,67	1.250.090,09	14,36%	20,05%	20,48%	15,04%	3,53%
6	1.008.485,07	1.044.704,94	1.000.000,00	-6,41%	-3,05%	-7,20%	2,32%	5,78%
7	977.788,53	1.051.445,19	1.000.000,00	-7,29%	-0,31%	-5,19%	1,41%	2,59%
8	1.054.649,85	1.051.684,03	1.011.002,96	-4,74%	-5,01%	-8,69%	6,64%	2,76%

Tabela 3 – Resultados obtidos pela correção da curvatura com Limite de Liquidez igual a 5% Os valores finais das carteiras foram estimados sem a correção da curvatura (Estratégia OBPI simples) e com a correção da curvatura (Estratégia OBPI + Calls) e comparados ao valor final da carteira teórica [S + P] de 63 dias úteis, taxa de juros livre de risco calculada pela estrutura a termo dos contratos futuros de DI de 1 dia, volatilidade EWMA com λ igual a 0,94 e $Strike$ igual ao preço do ativo-objeto na data inicial. Os erros quadrados foram calculados para desvios percentuais diários entre as carteiras com e sem correção e a carteira teórica.

Período	Carteira			Rentabilidade			Somatório dos Erros Quadrados sem Correção	Somatório dos Erros Quadrados com Correção
	Valor Final sem Correção	Valor Final com Correção	Valor Final Teórico	sem Correção	com Correção	Teórica		
1	1.004.301,00	994.501,24	1.000.000,00	-6,01%	-6,92%	-6,41%	0,58%	0,89%
2	1.117.373,74	1.148.766,50	1.116.446,58	5,30%	8,26%	5,21%	0,26%	1,47%
3	996.447,08	1.028.429,87	1.000.000,00	-5,49%	-2,46%	-5,15%	0,13%	2,73%
4	1.010.725,35	1.029.163,66	1.000.000,00	-4,38%	-2,63%	-5,39%	0,83%	2,85%
5	1.186.667,25	1.285.340,32	1.250.090,09	14,36%	23,87%	20,48%	15,04%	2,84%
6	1.008.485,07	1.075.977,25	1.000.000,00	-6,41%	-0,15%	-7,20%	2,32%	14,93%
7	977.788,53	1.081.771,17	1.000.000,00	-7,29%	2,56%	-5,19%	1,41%	6,64%
8	1.054.649,85	1.094.826,73	1.011.002,96	-4,74%	-1,11%	-8,69%	6,64%	9,90%

Numa primeira avaliação dos resultados, observa-se que, na maioria das vezes, o somatório dos erros quadrados após a correção ficou maior do que antes da correção, principalmente com um Limite de Liquidez de 5%. Trata-se de uma constatação, a princípio, ruim. Porém, uma análise mais cuidadosa aponta um fato extremamente positivo, mesmo com desvios maiores: as rentabilidades em quase todos os casos onde o erro cresceu foram superiores às rentabilidades antes da correção. Apenas no período 1, a rentabilidade diminuiu e o erro cresceu. Mesmo assim, neste período, o aumento no erro foi pequeno.

Foram comparados, também, os desvios diários da Estratégia OBPI com os resultados obtidos pela carteira paralela de Calls. A comparação pode ser vista nas Figuras 8 e 9 que mostram os diversos gráficos para os períodos de 1 a 8. Nos mesmos gráficos, podem ser também constatados o erro no gama da carteira

total (Seguro Dinâmico + Calls) e os polinômios de 6º grau que mais bem descrevem os comportamentos, tanto do desvio, quanto da correção da curvatura. Como pode ser visto, os melhores resultados foram obtidos nas carteiras onde o erro do gama esteve sempre próximo de zero. Nessas carteiras pôde ser verificada uma maior simetria entre o desvio da Estratégia OBPI e a correção da curvatura através das Calls. Destaca-se o período 1, onde foi muito difícil corrigir o gama (ver Figura 8.a), e que foi o único a apresentar maior erro e menor rentabilidade. Outro ponto a ser destacado foi a rentabilidade que, como observado nas Tabelas 2 e 3, cresceu para quase todos os períodos estudados. Isso pode ser visto, pois as curvas da correção, apesar de ligeiramente simétricas em relação às curvas dos desvios, apresentam-se inclinadas positivamente.

Nota-se, ainda, que as carteiras com Limite de Liquidez igual a 5% apresentaram maior inclinação que aquelas com Limite de Liquidez igual a 1%. Tal fato é explicado pela maior capacidade destas carteiras em auferir os ganhos da estratégia de negociação. Tendo maior liberdade para comprar e vender as opções de compra, as carteiras com LL de 5% deveriam realmente apresentar maior rentabilidade. Além disso, as carteiras com LL de 5% tiveram maior facilidade em corrigir o gama e apresentaram erros menores neste parâmetro de risco, como pode ser visto na comparação dos gráficos.

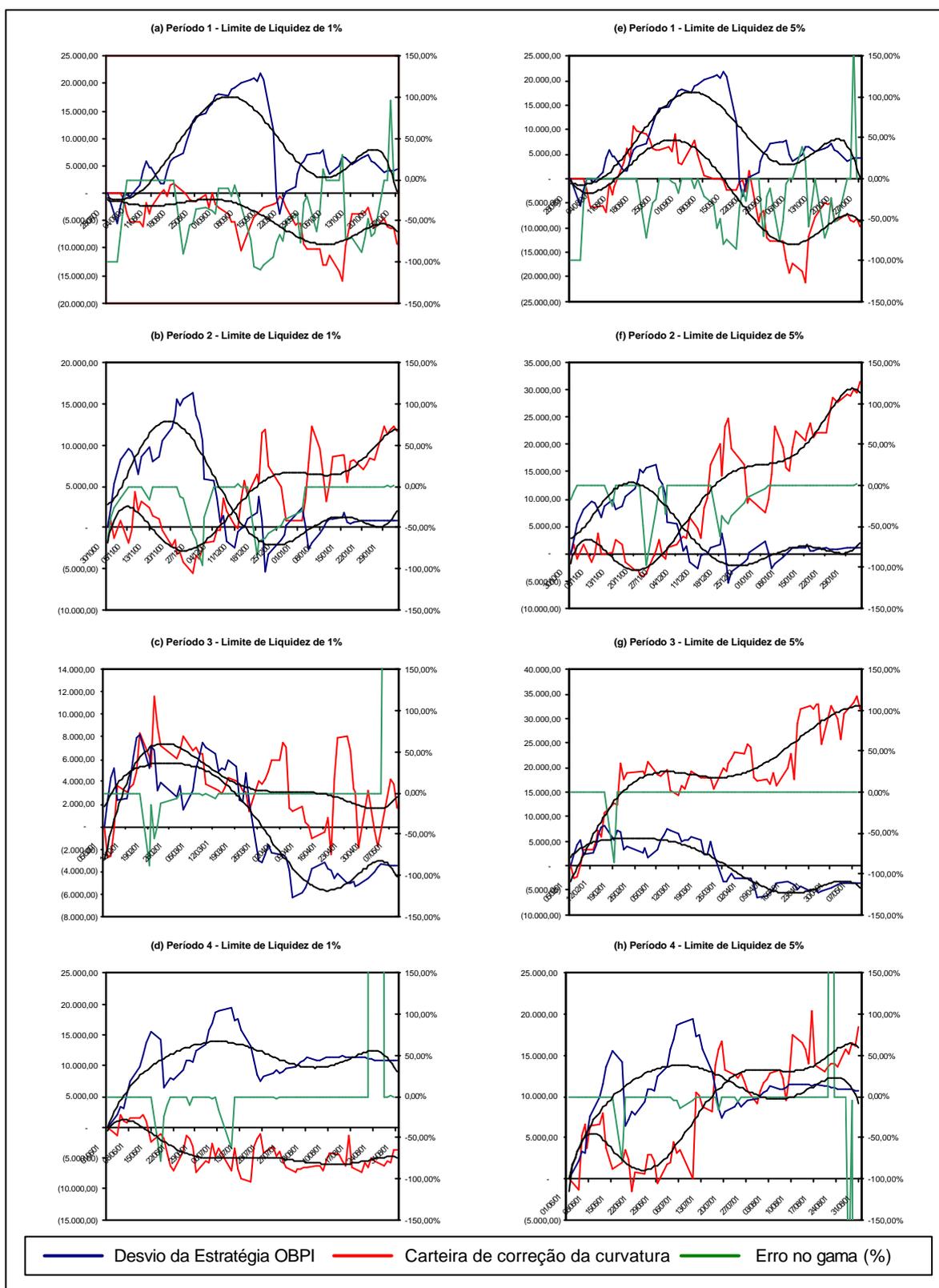


Figura 8 – Comparação entre os desvios obtidos pela Estratégia OBPI e a correção da curvatura para os períodos 1 a 4, considerando Limites de Liquidez iguais a 1% e 5%.

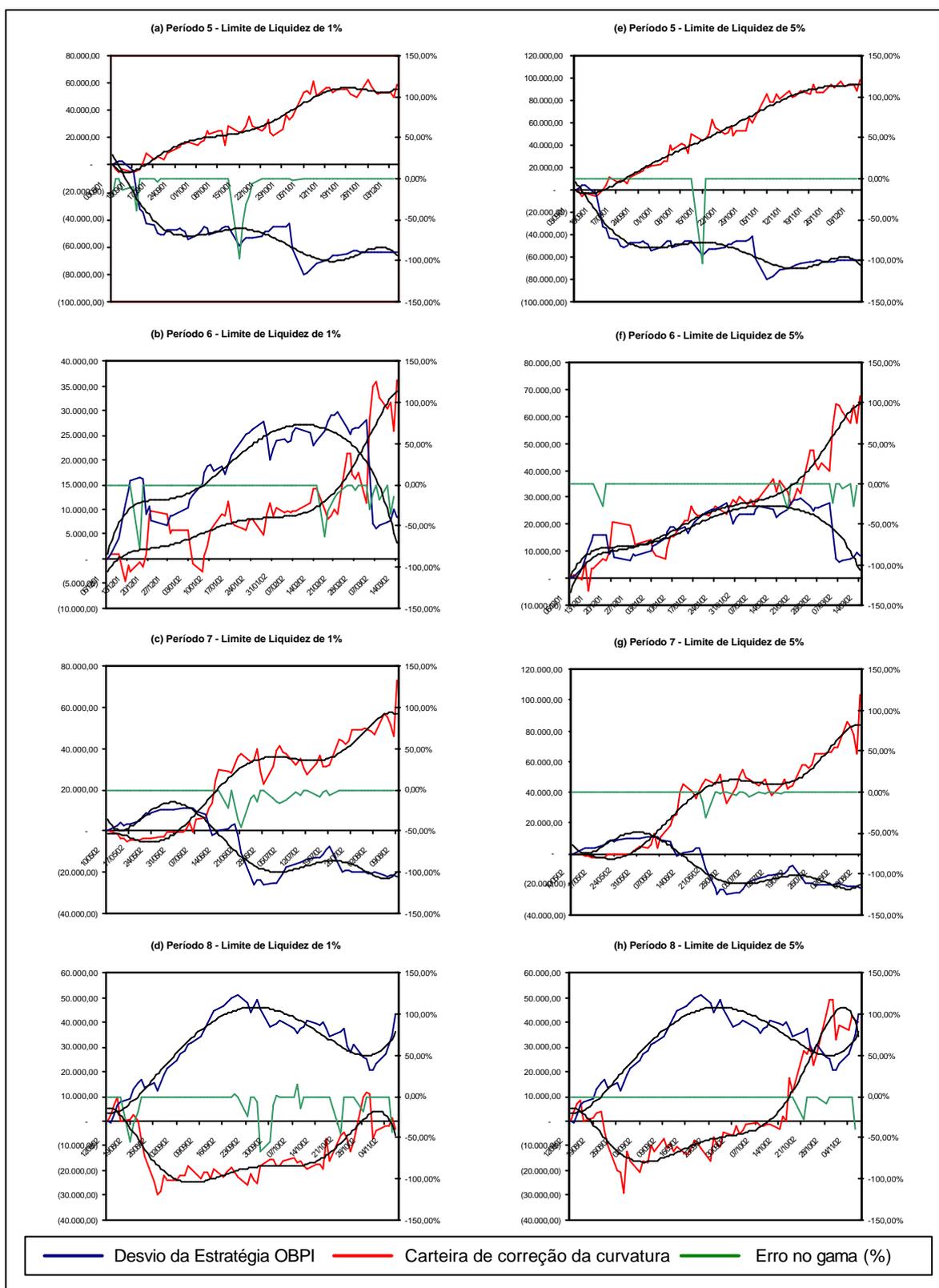


Figura 9 – Comparação entre os desvios obtidos pela Estratégia OBPI e a correção da curvatura para os períodos 5 a 8, considerando Limites de Liquidez iguais a 1% e 5%.

A constatação do crescimento da rentabilidade pode ser explicada pelo fato da carteira paralela ter delta neutro e, acima de tudo, ser construída sob uma estratégia que busca lucros extraordinários através da compra e venda de Calls subvalorizadas e supervalorizadas, respectivamente. Para avaliar de maneira mais consistente a correção da curvatura, eliminou-se os ganhos (ou perdas) obtidos pela estratégia de negociação para verificar o erro quadrado e a simetria das curvas sem os mesmos. Ao final de cada período, foi calculado o valor deste ganho (ou perda), que é a diferença entre o valor final obtido pela carteira com correção da curvatura (OBPI + Calls) e o valor teórico que deveria ter sido alcançado. O ganho foi, então, retirado em parcelas iguais ao longo dos dias de negociação. Em caso de perda, o raciocínio se mantém, concluindo apenas que a carteira não chegou a corrigir o resultado final suficientemente.

Ao fazer este procedimento, retirando-se os ganhos (ou perdas) em parcelas iguais, assume-se que os mesmos foram auferidos, em função da estratégia de negociação, de maneira estável e constante ao longo dos dias. Tal fato não é verdadeiro, mas serve como uma boa aproximação do que ocorre com a carteira. Na verdade, a carteira vai contabilizando os ganhos e perdas de maneira irregular na medida em que o mercado ajusta os preços em função daqueles determinados pelo Modelo Black-Scholes. Após o procedimento descrito, foram novamente calculados os erros quadrados diários. Os resultados obtidos estão tabulados na Tabela 4 e os gráficos podem ser verificados nas Figuras 10 e 11.

Tabela 4 – Avaliação dos erros quadrados da carteira após correção da curvatura
A avaliação foi feita durante os períodos de 1 a 8 para os Limites de Liquidez de 1% e 5%. Os ganhos foram estimados como sendo a diferença entre o valor final obtido pela carteira com correção da curvatura (OBPI + Calls) e o valor da carteira teórica.

Período	Somatório dos Erros Quadrados sem Correção com Ganhos	Limite de Liquidez de 1%			Limite de Liquidez de 5%		
		Ganhos Estimados	Somatório dos Erros Quadrados com Correção com Ganhos	Somatório dos Erros Quadrados com Correção sem Ganhos	Ganhos Estimados	Somatório dos Erros Quadrados com Correção com Ganhos	Somatório dos Erros Quadrados com Correção sem Ganhos
1	0,58%	(4.845,46)	0,40%	0,45%	(5.498,76)	0,89%	0,97%
2	0,26%	12.575,77	0,38%	0,16%	32.319,92	1,47%	0,18%
3	0,13%	(1.828,74)	0,35%	0,36%	28.429,87	2,73%	0,50%
4	0,83%	7.034,92	0,36%	0,20%	29.163,66	2,85%	0,35%
5	15,04%	(4.456,42)	3,53%	2,79%	35.250,23	2,84%	3,20%
6	2,32%	44.704,94	5,78%	0,52%	75.977,25	14,93%	0,68%
7	1,41%	51.445,19	2,59%	0,33%	81.771,17	6,64%	0,58%
8	6,64%	40.681,07	2,76%	0,53%	83.823,77	9,90%	0,95%

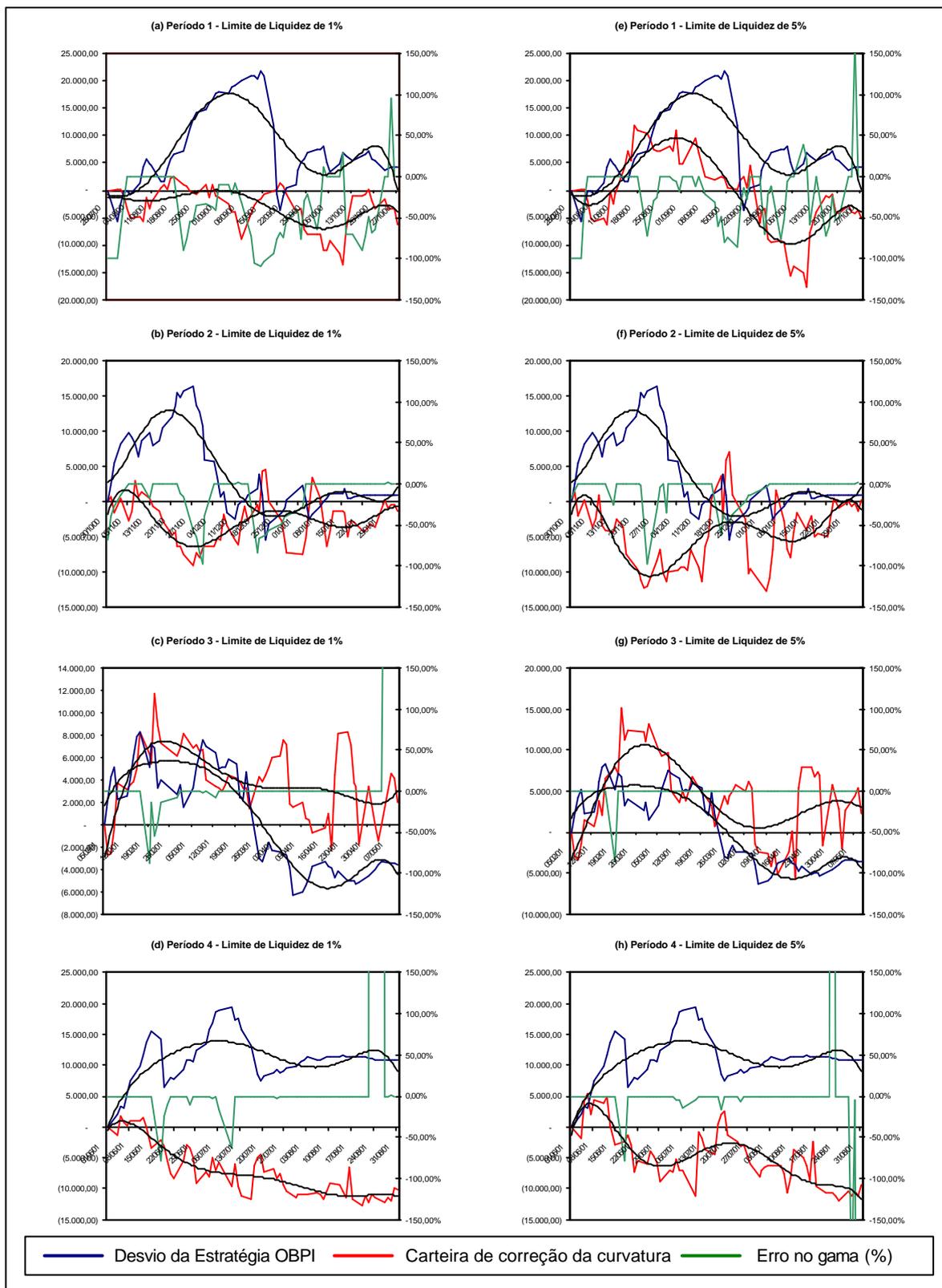


Figura 10 – Comparação entre os desvios obtidos pela Estratégia OBPI e a correção da curvatura para os períodos 1 a 4, sem os ganhos decorrentes da estratégia de negociação.

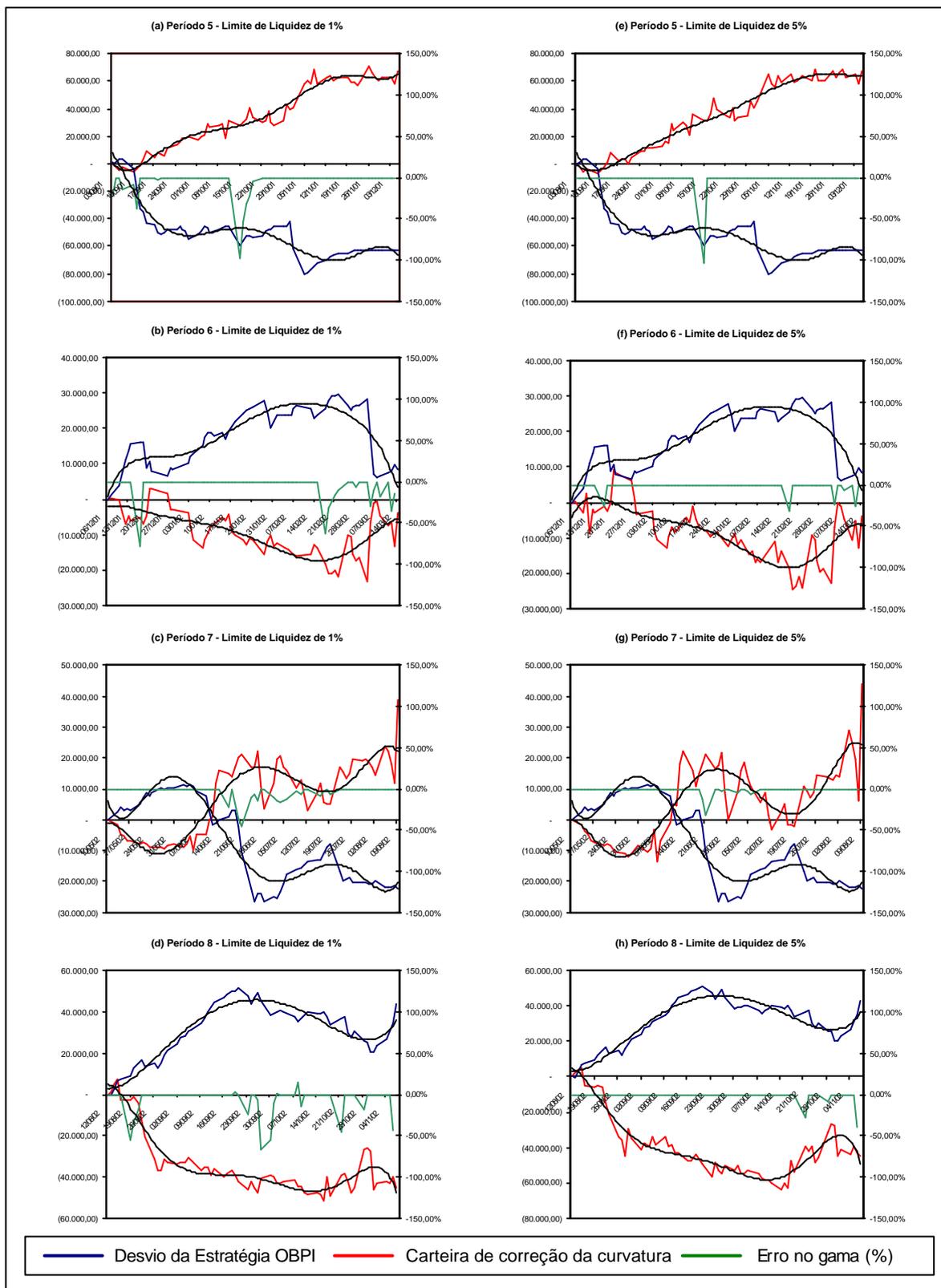


Figura 11 – Comparação entre os desvios obtidos pela Estratégia OBPI e a correção da curvatura para os períodos 5 a 8, sem os ganhos decorrentes da estratégia de negociação.

Após o procedimento para retirada linear dos ganhos (ou perdas) da carteira de Calls, verificou-se que a correção da curvatura efetivamente corrige o desvio determinado pela Estratégia OBPI pura. Os somatórios dos erros para as simulações mostraram-se significativamente melhores, com exceção dos períodos 1 e 3. De fato, no período 1, foi extremamente difícil corrigir a curvatura da carteira, o que pode ser verificado na Figura 10, nos gráficos (a) e (b). Tal fato pode ser explicado pela menor liquidez do mercado neste período.¹² No caso específico do período 3, a correção da curvatura deveria tornar o valor da carteira de Calls negativo em sua primeira metade, mas este valor esteve sempre positivo. Um estudo mais aprofundado de outras variáveis, nomeadamente da volatilidade, foi feito, então, para tentar explicar esse tipo de comportamento. De qualquer forma, a correção da curvatura no período 3 aumentou o erro, principalmente, por ser este realmente pequeno. Efetivamente, no período 3, o somatório dos erros quadrados foi o menor de todas as simulações. Como o desvio na estratégia pura era ínfimo, a correção acabou por realmente inserir um erro maior na carteira.

Observando as Figuras 10 e 11, pode-se perceber o que os erros quadrados indicam. Há uma melhora sensível na simetria entre as curvas do desvio da Estratégia OBPI em relação à Carteira Teórica e do valor da Carteira de Calls para correção da curvatura determinada pelo gama. Assim, a estratégia apresenta bons indícios de sua eficácia. No caso dos ganhos, vale lembrar que não foram levados em conta os custos de transação. Se fossem considerados, ter algum ganho na estratégia seria, de fato, muito importante para cobrir estes custos. Considera-se, portanto, que o Limite de Liquidez de 5% teve melhor resultado, pois, além de corrigir a curvatura, gerou ganhos para cobrir os custos de transação que seriam incorridos numa situação prática.

Outro ponto importante a ser considerado é a melhora gradual nos resultados da correção da curvatura. Os primeiros períodos apresentaram menores rendimentos e pouca melhora nos erros quadrados e tal situação foi se tornando mais favorável com o passar do tempo. Há fortes indícios de que esta

¹² A liquidez será avaliada no item seguinte deste trabalho.

melhora pode ser explicada pelo aumento da oferta, bem como da liquidez das opções. O item 4.2 a seguir tratará de estudar tais indícios.

Por fim, foi avaliado o comportamento dos parâmetros de risco durante os períodos do experimento. O delta e o gama da Carteira Total, formada pela Estratégia OBPI somada à carteira de Calls para correção da curvatura, mantiveram-se razoavelmente sob controle em todos os períodos. Notou-se, porém, que, nos raros períodos onde o delta apresentou algum desvio, o caixa da carteira tinha valor igual a zero. Observou-se que, nestes casos, dada a restrição de manter o caixa positivo, era impossível comprar Calls suficientes para manter o delta igual ao da carteira teórica sem tomar dinheiro emprestado. Da mesma forma, verificou-se que os parâmetros delta e gama melhoraram significativamente no experimento com 5% de Limite de Liquidez. Tal fato se explica, pois com maior liquidez, menor é a restrição imposta ao Problema de Programação Linear e, portanto, mais fácil se torna a correção dos parâmetros.

Os demais parâmetros de risco – teta, rô e vega – não puderam ser controlados em conjunto com o delta e o gama. Apesar do teta e do vega da carteira terem ficado mais perto dos parâmetros ideais da Put Simulada na maior parte dos dias, durante outros tantos momentos, estes estiveram fora de controle. Isso ocorreu, principalmente, em períodos cujo valor objetivado para os parâmetros era muito próximo de zero, pois, nesse caso, os desvios percentuais ficavam extremamente grandes.

Vale destacar que o comportamento dos parâmetros de risco ficou, sobretudo, dentro do esperado. Dado um Problema de Programação Linear tão complexo quanto o que foi gerado diariamente nos períodos estudados, era improvável, senão impossível, que todos os parâmetros tivessem ficado sob controle. Importante foi verificar que os parâmetros delta e gama, como esperado, estiveram efetivamente sob controle. Os gráficos detalhados com o comportamento dos parâmetros de risco encontram-se no Anexo 1 deste trabalho.

4.2 ANÁLISE DO IMPACTO DA VOLATILIDADE E DA LIQUIDEZ

Sendo as variáveis volatilidade e liquidez de grande importância no resultado da estratégia, procurou-se estudá-las com maior profundidade de forma a se entender seu verdadeiro impacto no processo. Observou-se que os resultados dos 8 períodos, apesar de positivos, foram bastante distintos entre si. Dessa forma, a análise da volatilidade e da liquidez busca explicar a razão para tais diferenças.

Impacto da Volatilidade

A volatilidade anual para cada dia do experimento pode ser vista na Figura 12, onde os períodos de estudo encontram-se destacados. Observa-se que, em alguns períodos, a volatilidade anual calculada diariamente teve variabilidade muito maior do que em outros períodos. Destacam-se os períodos 3, 5 e 7 como sendo os de maior variabilidade na volatilidade.

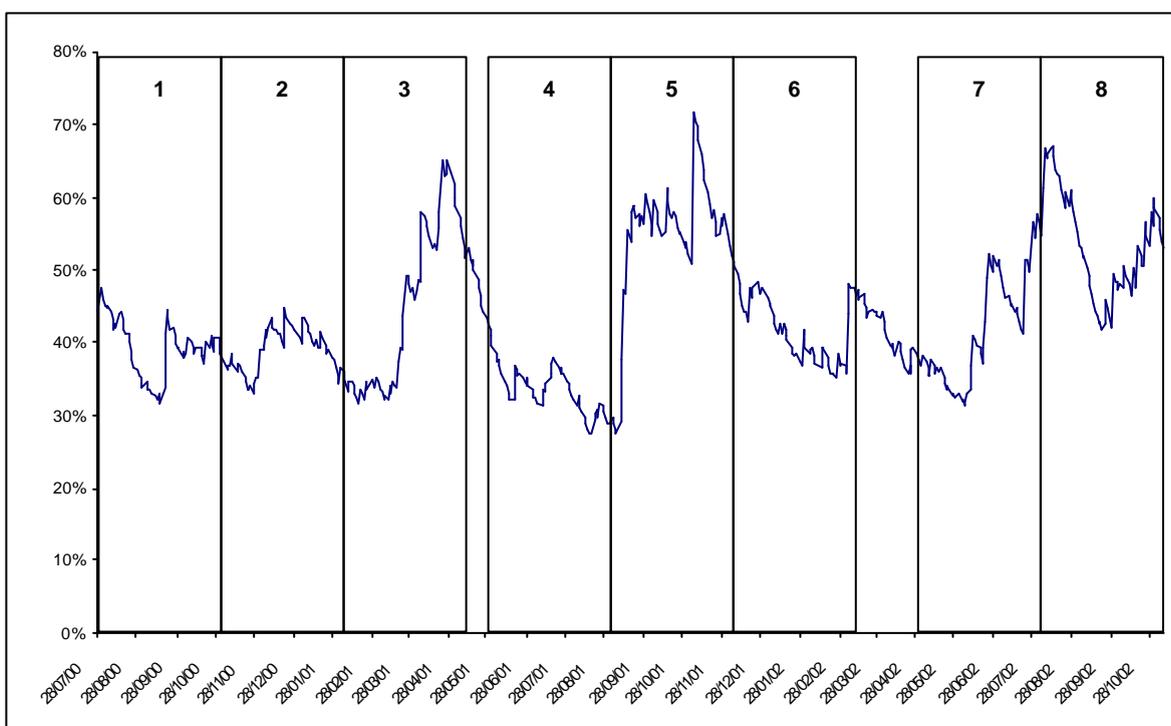


Figura 12 – Volatilidade anual calculada pelo Modelo EWMA com λ igual a 0,94

Mais do que a simples observação do gráfico, pode-se verificar através do desvio padrão da volatilidade anual para os dias de cada período do experimento que, de fato, os períodos citados são os que apresentam maior variabilidade da volatilidade. Na Tabela 5, além das variabilidades da volatilidade, analisou-se a associação entre estas e outros parâmetros do estudo, como o aumento na rentabilidade e o somatório dos erros quadrados. Verificou-se que, com exceção do período 3, parece existir uma forte correlação entre o aumento na rentabilidade da carteira e a variabilidade da volatilidade no período. Trata-se de um resultado esperado, pois a correção visa exatamente obter ganhos em períodos de alta variabilidade da volatilidade, ou seja, períodos onde a estratégia pura apresenta maiores erros. Entretanto, não parece haver melhor qualidade da correção, ou seja, menor erro, quando aumenta a variabilidade da volatilidade anual. Os erros em sua maioria diminuíram independentemente da variabilidade da volatilidade ser maior ou menor.

O período 3 apresenta, entretanto, um caso especial, onde na primeira metade do período houve uma volatilidade quase constante e na segunda metade um crescimento acentuado da mesma. No período de volatilidade constante, a carteira de Calls acumulou ganhos em função da estratégia de negociação e no momento em que houve o aumento da volatilidade a carteira de Calls executou a correção. Dessa forma, a Carteira Total apresentou aumento na rentabilidade num período onde nada havia a ser corrigido e, portanto, seu erro efetivamente aumentou.

Tabela 5 – Avaliação do impacto da variabilidade da volatilidade no resultado final
A avaliação foi feita durante os períodos de 1 a 8 para os Limites de Liquidez de 1% e 5%. O aumento na rentabilidade é a diferença entre as rentabilidades com e sem correção da curvatura. A variabilidade da volatilidade foi calculada como sendo o desvio padrão da volatilidade no período.

Período	Limite de Liquidez de 1%			Limite de Liquidez de 5%		Desvio Padrão da Volatilidade Anual
	Somatório dos Erros Quadrados sem Correção com Ganhos	Somatório dos Erros Quadrados com Correção sem Ganhos	Aumento na Rentabilidade após Correção	Somatório dos Erros Quadrados com Correção sem Ganhos	Aumento na Rentabilidade após Correção	
1	0,58%	0,45%	-0,86%	0,97%	-0,92%	3,90%
2	0,26%	0,16%	1,10%	0,18%	2,96%	2,92%
3	0,13%	0,36%	0,16%	0,50%	3,03%	11,43%
4	0,83%	0,20%	-0,35%	0,35%	1,74%	2,94%
5	15,04%	2,79%	5,68%	3,20%	9,51%	9,27%
6	2,32%	0,52%	3,36%	0,68%	6,26%	4,43%
7	1,41%	0,33%	6,98%	0,58%	9,86%	9,44%
8	6,64%	0,53%	-0,27%	0,95%	3,63%	6,64%

Impacto da Liquidez

Os resultados apresentaram um aumento gradual e significativo nos ganhos obtidos com a correção da curvatura do período 1 ao período 8 (ver Tabela 4). Os indícios de que tal aumento dos ganhos estava ligado, principalmente, ao aumento da liquidez do mercado vêm do fato de que uma maior liquidez permitiria à estratégia de correção montar uma carteira “mais comprada” em opções subvalorizadas e “mais vendida” em opções supervalorizadas. Dessa forma, a estratégia de negociação poderia auferir maiores lucros das falhas de apreçamento do mercado. De fato, como pode ser visto na Figura 13, a liquidez aumentou durante o período deste experimento. Tanto o volume em reais, quanto o número de contratos diferentes, negociados diariamente apresentaram crescimento.

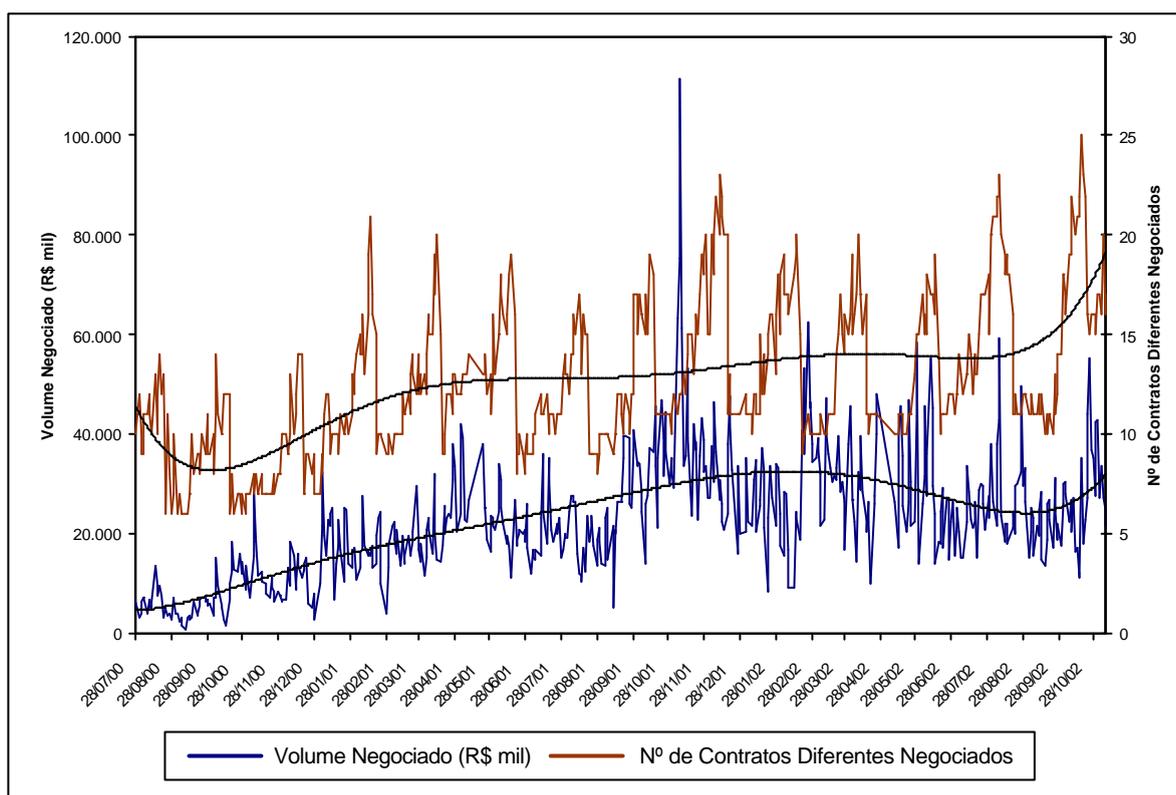


Figura 13 – Liquidez do mercado de opções de TNLP4 durante o período do experimento

Fonte: Bolsa de Valores de São Paulo (Bovespa)

Outro ponto a ser destacado foi a melhora na correção do desvio da Estratégia OBPI pura. Como mostra a Tabela 6, além dos ganhos que acompanharam o crescimento do volume em reais e do número de contratos negociados, o somatório dos erros quadrados também apresentou melhora na medida em que a liquidez do mercado aumentou. Os períodos 1 e 3 novamente não tiveram bom desempenho. O primeiro pela baixíssima liquidez do mercado no momento e o segundo por não ter tido erro a ser corrigido.

Tabela 6 – Avaliação do impacto da liquidez no resultado final
A avaliação foi feita durante os períodos de 1 a 8 para os Limites de Liquidez de 1% e 5%. O volume médio negociado, bem como o número de contratos diferentes foram informados pela Bovespa.

Período	Limite de Liquidez de 1%		Limite de Liquidez de 5%		Liquidez do Mercado de Opções	
	Ganhos Estimados	Melhora % no Somatório dos Erros Quadrados	Ganhos Estimados	Melhora % no Somatório dos Erros Quadrados	Volume Negociado (R\$ mil)	Tipos de Contratos Diferentes Negociados
1	(4.845,46)	23,0%	(5.498,76)	-67,3%	6.741	9,13
2	12.575,77	38,2%	32.319,92	29,6%	13.578	9,33
3	(1.828,74)	-169,6%	28.429,87	-275,1%	20.231	12,78
4	7.034,92	76,3%	29.163,66	57,4%	20.487	12,11
5	(4.456,42)	81,5%	35.250,23	78,7%	34.544	13,31
6	44.704,94	77,7%	75.977,25	70,7%	30.003	13,78
7	51.445,19	76,4%	81.771,17	59,1%	28.431	14,44
8	40.681,07	92,0%	83.823,77	85,7%	25.595	15,13

Os resultados apresentados pelo estudo do comportamento da liquidez estão baseados no aumento da capacidade de negociação do mercado, determinada pela atratividade dos títulos e pela procura de tais instrumentos pelos investidores, bem como pela quantidade de contratos diferentes negociados diariamente. O maior volume permite uma menor restrição ao Problema de Programação Linear diário e a disponibilidade de contratos oferece uma maior variedade de opções para a resolução do problema. Dessa forma, uma vez resolvido o problema de correção da curvatura, o algoritmo utilizado buscou maximizar os ganhos auferidos pela compra e venda de opções de compra subvalorizadas e supervalorizadas, respectivamente. Numa situação real, em dias atuais onde há grande disponibilidade de contratos de opção e bom volume negociado diariamente, o gestor de tal estratégia, após corrigir a curvatura, deveria se preocupar com a administração do risco da Carteira Total.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho partiu da constatação de que as estratégias de Seguro Dinâmico de Portfólio, construídas em operações diárias de correção do delta da carteira, apresentam desvios significativos de resultado em comparação com portfólios segurados através da compra de opções de venda (Put). Tais desvios seriam originados da natureza da estratégia que permite períodos onde o delta se encontra fora do valor ideal e das características dos ativos de compõem o Seguro Dinâmico de Portfólio. A estratégia é montada basicamente com o ativo-objeto e com o ativo livre de risco e, dessa forma, tem todos os demais parâmetros de risco – gama, teta, rô e vega – iguais a zero.

Sendo o Mercado de Opções Brasileiro carente de negociações com opções de venda, sugeriu-se a construção alternativa de uma carteira paralela de opções de compra de forma a corrigir um dos parâmetros de risco, o gama, para diminuir os desvios encontrados entre a carteira segurada e a correspondente carteira teórica. Corrigindo o gama da carteira, ou seja, sua curvatura, esperava-se recuperar perdas e eliminar ganhos decorrentes de saltos e mudanças bruscas de preços que não são completamente absorvidos por uma estratégia baseada apenas no delta. Além disso, ao adotar uma estratégia de negociação baseada na compra de opções subvalorizadas e na venda de opções supervalorizadas, esperava-se que algum ganho extraordinário pudesse ser obtido.

Os resultados reforçaram as constatações de diversos trabalhos anteriores de que a estratégia pura, sem correção da curvatura, de fato, apresenta desvios significativos, principalmente em períodos de estresse e mudanças mais acentuadas de preços. Além disso, tais mudanças geraram desvios positivos e negativos, denotando assim o maior risco de uma carteira pura em relação a uma carteira construída com ativo-objeto e sua correspondente opção de venda.

Uma vez constatados os desvios, partiu-se para a construção da carteira paralela de opções de compra. As carteiras construídas, a princípio, não

pareceram melhorar os desvios. Além disso, os erros obtidos com a soma da carteira segurada com a carteira paralela inclusive aumentaram. Observou-se, porém, que existia certa simetria entre a carteira paralela e o desvio obtido pela carteira pura em relação à carteira teórica. Constatou-se, também, que os valores finais das carteiras paralelas foram, em sua maioria, positivos. Assumindo que a carteira paralela poderia estar gerando ganhos extraordinários em função da estratégia de negociação, optou-se por retirar tais ganhos das carteiras paralelas. A metodologia utilizada eliminou os ganhos (ou perdas, em alguns casos) de forma constante e linear ao longo de todos os dias estudados. Tal decisão supõe que os ganhos foram auferidos de forma linear e constante, o que não é totalmente verdadeiro, mas uma boa aproximação da realidade. Após este procedimento, os resultados foram bastante positivos. Os erros diminuiriam em sua maioria e a simetria entre o valor diário da carteira paralela e os desvios da estratégia pura em relação à carteira teórica ficou evidente. Ou seja, observou-se que a correção da curvatura, feita sob a estratégia de negociação selecionando ativos baratos e caros, eliminou boa parte dos erros incorridos pela estratégia pura e foi capaz de gerar ganhos extraordinários. Tais ganhos foram considerados positivos, pois, como não foram considerados os custos de transação, poderiam ser utilizados para cobri-los.

A questão dos ganhos extraordinários foi estudada, então, à luz dos parâmetros volatilidade e liquidez. Tal estudo foi feito em função das evidências de que os ganhos tiveram relação com as volatilidades e aumentaram com o amadurecimento do mercado de opções de compra sobre o ativo Telemar PN. Os estudos feitos indicaram haver correlação positiva entre o aumento da rentabilidade da carteira e a variação da volatilidade no período. Entretanto, não pareceu haver correlação entre a variação da volatilidade e a qualidade da correção feita. Dessa forma, não foi verificada correlação alguma entre os erros e a variação da volatilidade no período. Um estudo da liquidez do mercado de opções de compra sobre Telemar PN mostrou que este mercado evoluiu sensivelmente desde o primeiro período estudado. Tanto o volume médio negociado diariamente, quanto o número de contratos diferentes negociados aumentaram significativamente desde o primeiro até o último período estudado.

Dessa forma, observou-se que o aumento nos ganhos esteve diretamente ligado à maior disponibilidade de ativos e ao maior volume disponível para negociação.

A evidência do impacto da liquidez também ficou clara quando avaliadas as diferenças entre as carteiras com Limite de Liquidez de 1% e 5%. As carteiras com maior LL tiveram maior facilidade em corrigir a curvatura e, uma vez feito isso, o algoritmo de resolução do Problema de Programação Linear tratou de maximizar os ganhos em função da estratégia de negociação. Portanto, os ganhos obtidos com as carteiras de LL de 5% foram bastante superiores aos ganhos das carteiras de LL de 1%. Vale lembrar que, apesar da determinação de diferentes Limites de Liquidez dar uma sensibilidade quanto à exposição ao risco, nenhuma avaliação explícita do risco da carteira foi efetivamente feita.

Ainda sobre a questão da liquidez, verificou-se que os primeiros períodos apresentaram maior dificuldade de corrigir a curvatura e, portanto, também apresentaram maiores erros. Nomeadamente, os períodos 1 e 3 foram os que mais sofreram. Identificou-se que o problema do período 1 foi exatamente de liquidez, ou seja, não foi possível uma boa correção pela indisponibilidade de variedades de opções de compra e de volume de negócios adequado. Entretanto, no período 3, o que se percebeu foi que o erro da estratégia pura foi extremamente baixo e, dessa forma, não sendo a correção perfeita, inseriu-se mais erro do que correção na carteira final. Vale destacar que, apesar do maior erro, a carteira final foi mais rentável que a carteira original da estratégia pura.

A estratégia testada mostrou-se, ao final deste trabalho, bastante efetiva na correção dos erros incorridos pela estratégia original. Teve, também, ganhos extraordinários que poderiam ser perfeitamente utilizados para cobrir os custos de transação incorridos. Os melhores resultados foram obtidos nos períodos finais, cuja liquidez era significativamente maior. Da mesma forma, as carteiras com maior Limite de Liquidez tiveram melhores resultados, mas foram, sem dúvida, carteiras com maior risco. Entende-se que o risco da carteira após a correção deve ser o principal elemento para estudos posteriores. Numa efetiva utilização da estratégia estudada neste trabalho, deve-se considerar o risco total da carteira.

Estudos poderiam ser feitos para determinar o ponto de equilíbrio onde se verificaria a correção da curvatura dentro de um limite de risco total adequado para a carteira.

Ainda como sugestão para estudos posteriores, outros métodos mais sofisticados para estimação da volatilidade, como a modelagem por volatilidade estocástica, poderiam ser utilizados. Sem dúvida, a volatilidade calculada é o elemento-chave na obtenção de ganhos extraordinários com a estratégia de negociação. Verificar qual o método de estimação da volatilidade gera os maiores ganhos poderia melhorar a performance da estratégia. Por fim, os estudos poderiam ser ampliados para novos ativos-objeto, para períodos de diferente duração e para incluir os custos de transação de forma a verificar quanto dos ganhos extraordinários seria necessário para cobri-los.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABKEN, P.A. An introduction to portfolio insurance. **Federal Reserve Bank of Atlanta Economic Review**, November/December 1987
- ALIPRANTIS, C.D. et.al. The cheapest hedge. **Journal of Mathematical Economics**, v.37, p.269-295, 2002
- AMIN, K.I. Jump diffusion option valuation in discrete time. **The Journal of Finance**, v.48, n.5, p.1833-1863, December 1993
- ASAY, M., EDELSBURG, C. Can a dynamic strategy replicate the returns of an option? **The Journal of Futures Markets**, v.6, n.1, p.63-70, 1986
- BASAK, S. A comparative study of portfolio insurance. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v.26, p.1217-1241, 2002
- BECKER, J.L., LEMGRUBER, E.F. Uma análise de estratégias de negociação no mercado brasileiro de opções: Evidências a partir das opções de compra mais negociadas durante o Plano Cruzado. In: BRITO, N.R.O. **Gestão de Investimentos**. São Paulo: Atlas; Rio de Janeiro: Editora da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1989. p.271-302.
- BERTRAND, P., PRIGENT, J. **Portfolio insurance strategies**: OBPI versus CPPI. Working Paper presented at the ADDI 2001 International Conference, Namur, Eire, 2001
- BLACK, F. Simplifying portfolio insurance for corporate pension plans. **Journal of Portfolio Management**, p.33-37, Summer 1988
- BLACK, F., JONES, R. Simplifying portfolio insurance. **Journal of Portfolio Management**, p.48-51, Fall 1987

BLACK, F., PEROLD, A.F. Theory of constant proportion portfolio insurance. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v.16, p.403-426, 1992

BLACK, F., SCHOLES, M. The valuation of option contracts and a test of market efficiency. **Journal of Finance**, v.27, p.399-417, 1972

_____. The pricing of options and corporate liabilities. **Journal of Political Economy**, v.81, n.3, p.637-654, May/June 1973

BOOKSTABER, R., LANGSAM, J.A. Portfolio insurance trading rules. **The Journal of Futures Markets**, v.8, n.1, p.15-31, 1988

BOYLE, P.P. Options: A Monte Carlo approach. **Journal of Financial Economics**, v.4, p.323-338, 1977

BOYLE, P.P., EMANUEL, D. Discretely adjusted option hedges. **Journal of Financial Economics**, v.8, p.259-282, September 1980

BREALEY, R.A., MYERS, S.C. **Principles of corporate finance**. 6th ed. Irwin/McGraw-Hill, 2000

BRENNAN, M.J. The pricing of contingent claims in discrete time models. **Journal of Finance**, v.34, p.53-68, 1979

CALÔBA, L.O.M. **Previsão de volatilidade implícita utilizando redes neurais**. Orientadores: Claudio Contador e Luiz Pereira Calôba. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPEAD, 2000. 86p. Dissertação (Mestrado em Administração)

CARR, P., ELLIS, K., GUPTA, V. Static hedging of exotic options. **The Journal of Finance**, v.53, n.3, p.1165-1190, June 1998

- CASTOR, P.C. de. **Análise das probabilidades neutras a risco da taxa de câmbio do dólar comercial, implícitas nos preços das opções de compra negociadas na BM&F**. Orientador: Eduardo Facó Lemgruber. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPEAD, 2000. 90p. Dissertação (Mestrado em Administração)
- CLARKE, R.G., ARNOTT, R.D. The cost of portfolio insurance: tradeoffs and choices. **Financial Analysts Journal**, p.35-47, 1987
- COLEMAN, T.F. et. al. Dynamic hedging in a volatile market. **The Journal of Computational Finance**, 1999
- COX, J.C., ROSS, S.A. The valuation of options for alternative stochastic processes. **Journal of Financial Economics**, v.3, p.145-166, 1976
- COX, J.C., ROSS, S.A., RUBINSTEIN, M. Option pricing: a simplified approach. **Journal of Financial Economics**, v.7, p.229-264, 1979
- COX, J.C., RUBINSTEIN, M. **Options markets**. New Jersey: Prentice-Hall, 1985
- DERMAN, E., ERGENER, D., KANI, I. Static options replication. **The Journal of Derivatives**, v.2, n.4, p.78-95, Summer 1995
- DILLMAN, S., HARDING, J. Life after delta: the gamma factor. **Supplement of Euromoney**, p.14-17, February 1985
- FIGLEWSKI, S. Forecasting volatility. **Financial Markets, Institutions & Instruments**, v.6, n.1, January 1997
- FUCHS, A. **Estratégias de investimento em posições delta-neutras: uma análise baseada na auto-correlação temporal**. Orientador: Eduardo Facó Lemgruber. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPEAD, 2001. 79p. Dissertação (Mestrado em Administração)

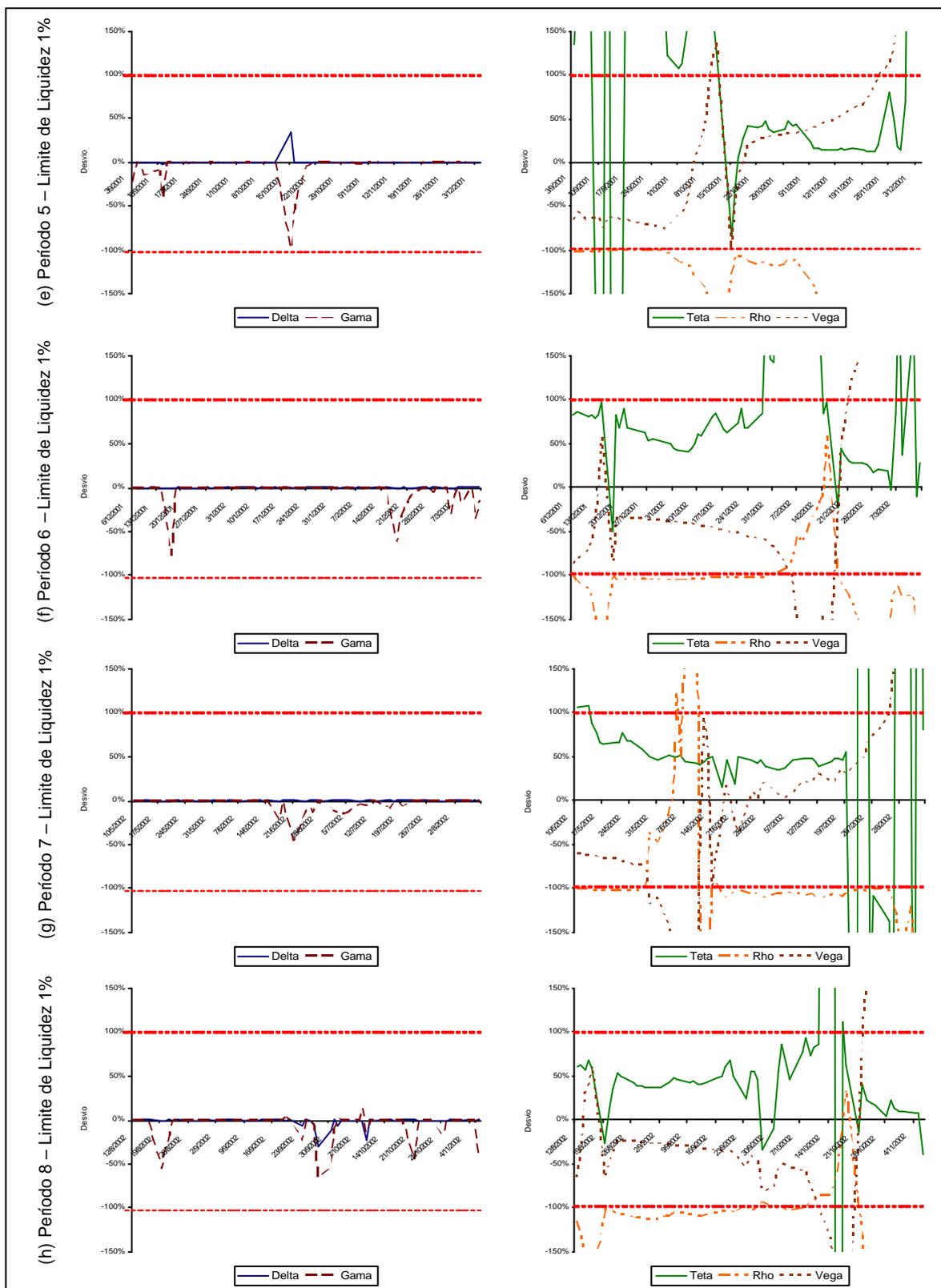
- HAUG, E.G. **The complete guide to option pricing formulas**. McGraw-Hill, 1997
- HULL, J. **Options, futures, and other derivatives**. 4th ed. Prentice-Hall, Inc., 2000
- HULL, J., WHITE, A. The pricing of options on assets with stochastic volatilities. **The Journal of Finance**, v.42, n.2, p.281-300, June 1987
- _____. Hedging the risks from writing foreign currency options. **Journal of International Money and Finance**, v.6, p.131-152, 1987
- _____. **Hull-White on derivatives**: a compilation of articles. London: Risk Publications, 1996. 356p.
- HUU DO, B. Relative performance of dynamic portfolio insurance strategies: Australian evidence. **Accounting & Finance**, v.42, i.3, p.279-296, 2002
- LELAND, H.E. Option pricing and replication with transaction costs. **The Journal of Finance**, v.40, n.5, p.1283-1301, December 1985
- _____. Who should buy portfolio insurance? **The Journal of Finance**, v.35, n.2, p.581-596, May 1980
- LELAND, H.E., RUBINSTEIN, M. The evolution of portfolio insurance. In: LUSKIN, D.L. **Portfolio insurance**: a guide to dynamic hedging. Wiley, 1976
- LEMGRUBER, E.F. **Avaliação de contratos de opções**. Edição ampliada e revisada. São Paulo: Bolsa de Mercadorias & Futuros, 1995. 62p.
- _____. **Constant return portfolio insurance**. Trabalho não publicado, 1999

- LEMGRUBER, E.F., BECKER, J.L., FELICIO, R.F. Seguro dinâmico de portfólio. **Revista Brasileira de Economia**, v.45, p.629-647, Out/Dez 1991.
- MERTON, R.C. Theory of rational option pricing. **Bell Journal of Economics and Management Science**, v.4, p.141-183, 1973
- NIETERT, B. **Model uncertainty and portfolio insurance**. Passau: Passau University, Working Paper, 2002
- PELSSER, A. VORST, T. The binomial model and the greeks. **The Journal of Derivatives**, v.1, n.3, p.45-49, 1994
- PEROLD, A.F., SHARPE, W.F. Dynamic strategies for asset allocation. **Financial Analysts Journal**, v.4, i.1, p.16-27, January-February 1988
- RUBINSTEIN, M. Alternative paths to portfolio insurance. **Financial Analysts Journal**, v.41, n.4, p.42-52, Jul/Aug 1985
- _____. Portfolio insurance and the market crash. **Financial Analysts Journal**, p.38-47, 1988
- RUBINSTEIN, M. LELAND, H. Replicating options with positions in stock and cash. **Financial Analysts Journal**, v.51, n.1, p.63-72, Jul/Aug 1981
- SHEA, G. Interest rate term structure estimation with exponential splines: a note **Journal of Finance**, v.40, 319-325, 1985
- SHERIDAN, A. Do investors still need protection? **International Money Markets**, p.22-27, May 2002
- VARGA, G. Interpolação por cubic spline para a estrutura a termo brasileira. **Resenha BM&F**, 2000

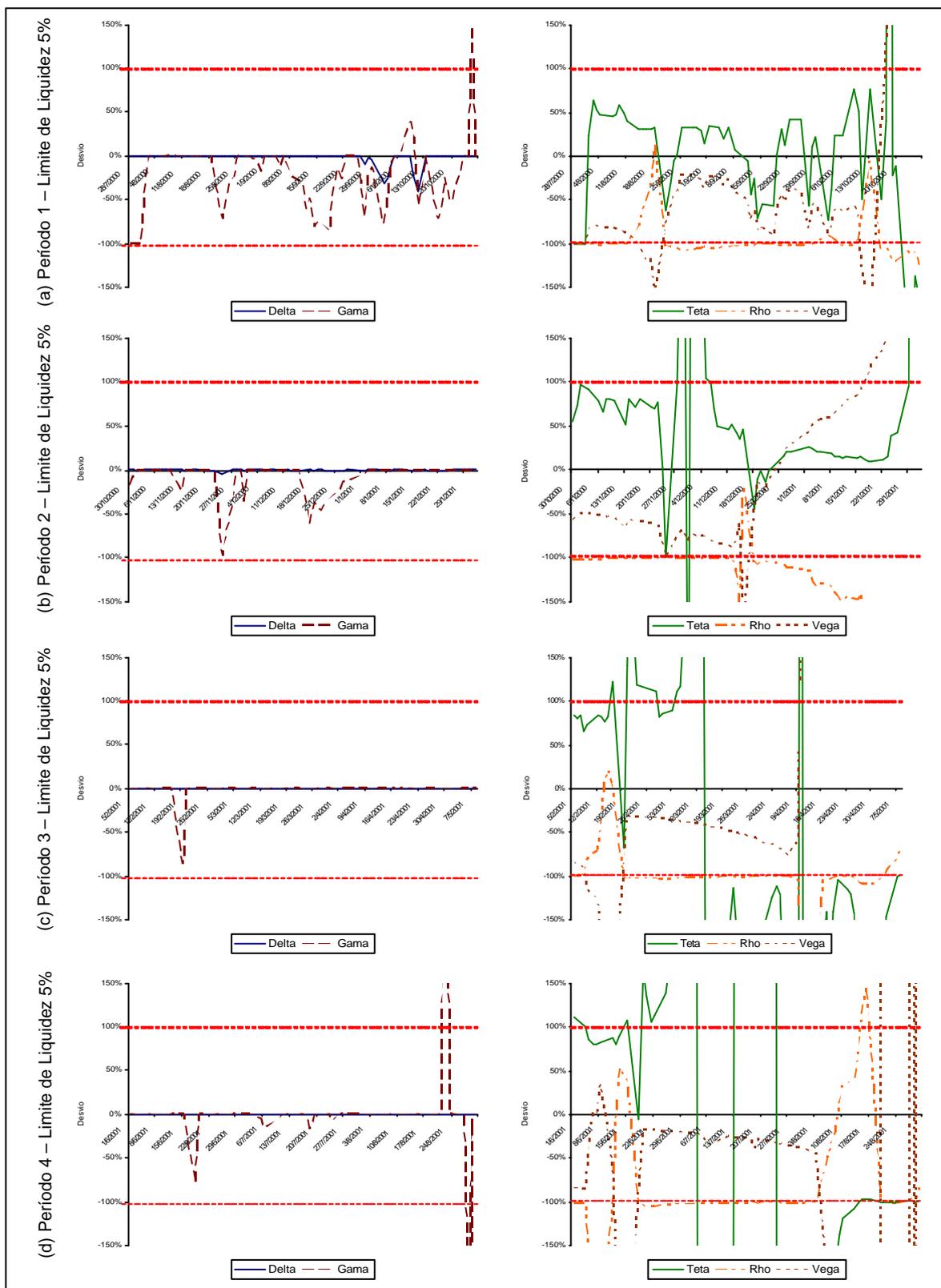
VASICEK, O.A., FONG H.G. Term structure modeling using exponential splines. **Journal of Finance**, v.37, p.339-348, 1982.

ZHOU, C. Path-dependent option valuation when the underlying path is discontinuous. **The Journal of Financial Engineering**, v.8, n.1, p.73-97, March 1999

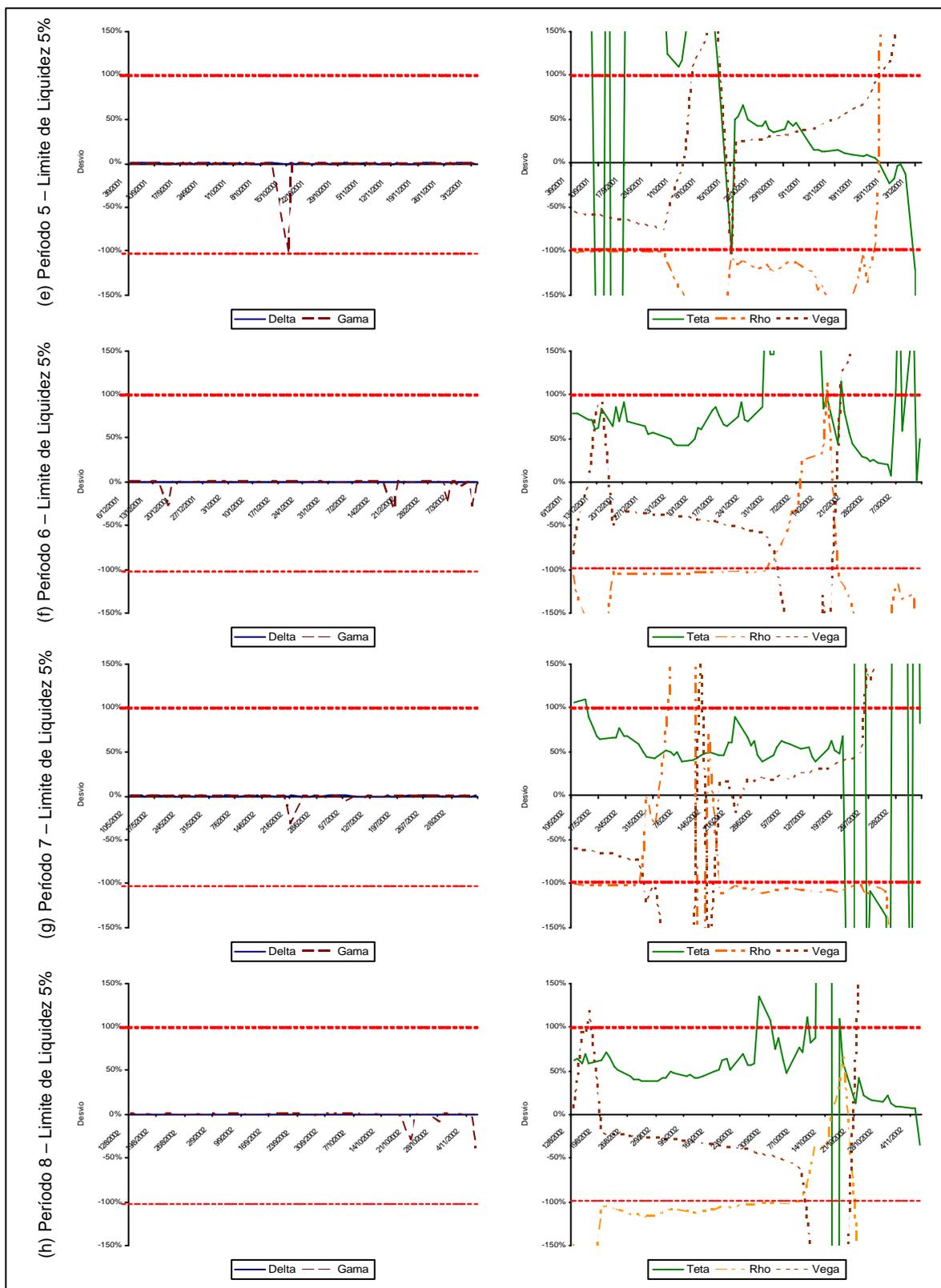
A1) Gráficos com os parâmetros de risco durante cada período (cont.)



A2) Gráficos com os parâmetros de risco durante cada período



A2) Gráficos com os parâmetros de risco durante cada período (cont.)



Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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