



Joana Gomes Ázara de Oliveira

Análise de risco para carteiras não lineares:
Uma aplicação ao mercado de energia e petróleo

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Carlos Patricio Samanez

Rio de Janeiro
Abril de 2012



Joana Gomes Ázara de Oliveira

Análise de risco para carteiras não lineares: Uma aplicação ao mercado de energia e petróleo

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção do Departamento de Engenharia Industrial do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Carlos Patricio Samanez

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. José Paulo Teixeira

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Profa. Kátia Maria Carlos Rocha

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 09 de abril de 2012

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da autora, do orientador e da universidade.

Joana Gomes Ázara de Oliveira

Graduou-se em Engenharia de Produção (Universidade Federal Fluminense) em 2005. Trabalhou de 2004 a 2006 na Icatu Hartford Seguros na área de pesquisa atuarial, de 2006 a 2008 na área de gestão de riscos da Centrais Elétricas Brasileiras - Eletrobras, responsável pela definição dos parâmetros financeiros da análise de projetos e gestão de risco cambial e, desde 2008, trabalha na gestão de riscos da diretoria de Abastecimento da Petrobras.

Ficha Catalográfica

Oliveira, Joana Gomes Ázara de

Análise de risco para carteiras não lineares: uma aplicação ao mercado de energia e petróleo / Joana Gomes Ázara de Oliveira ; orientador: Carlos Patricio Samarez. – 2012.

85 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2012.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Análise de risco. 3. Valor de risco. 4. Opções. 5. Derivativos. 6. WTI. 7. Portfólios não-lineares. I. Samarez, Carlos Patricio. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

A meus pais e irmã pelo apoio,
confiança e grande paciência.

Agradecimentos

Aos meus pais, Ivo e Vera, que me ensinaram que o conhecimento é um bem valioso e sempre me incentivaram a buscar mais dele. Mas nenhuma de minhas conquistas seria imaginável se não fosse pelo imenso amor e apoio recebido. Nos momentos da dúvida e das dificuldades sempre foram meu conforto.

À Petrobras, que através de seu Programa de Mestres e Doutores, me possibilitou subir mais um degrau na vida acadêmica e profissional. Em especial ao gerente Alexandre França e colegas da Gestão de Riscos do Abastecimento pela grande compreensão nos momentos em que tive que me ausentar do trabalho em função de aulas e outras obrigações relacionadas ao mestrado. Sem este apoio não seria possível concluir esta etapa com êxito.

Resumo

Oliveira, Joana Gomes Ázara; Samanez, Carlos Patricio (Orientador). **Análise de risco para carteiras não lineares: uma aplicação ao mercado de energia e petróleo.** Rio de Janeiro, 2012. 85p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Houve um salto de conhecimento na área de derivativos nos anos 70, com destaque para a divulgação das pesquisas de Fisher Black, Myron Scholes e Robert Merton sobre o apreçamento de opções. Desde então, várias pesquisas têm sido realizadas no intuito de encontrar uma métrica de risco adequada às carteiras não lineares, dado que ainda não há um consenso sobre a métrica ideal para estas carteiras, cuja aceitação possa ser comparada à do VaR para carteiras lineares, surgido nos anos 90. Esta pesquisa tem como objetivo comparar a eficiência de algumas métricas de risco na mensuração de risco em carteiras de opções de WTI (*West Texas Intermediate*). Para tal, calcula-se o valor em risco utilizando diversas metodologias apresentadas no meio acadêmico e compara-se sua eficácia em relação à avaliação plena, realizada através do método *full* Monte Carlo.

Palavras-chave

Análise de risco; Valor em risco; opções; derivativos; WTI, *portfolios* não-lineares.

Abstract

Oliveira, Joana Gomes Ázara; Samanez, Carlos Patricio (Advisor). **Risk Analysis of non-linear *portfolios*: an application to the oil and energy market.** Rio de Janeiro, 2012. 85p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

In the 70's, the market saw a big change in the knowledge about derivatives. From this period the researches of Fisher Black, Myron Scholes and Robert Merton on the pricing of options are noteworthy. Since then, many researches have been done aiming to find the ideal metrics for risk assessment of non-linear *portfolios*, as there is no consensus of an ideal metrics for these *portfolios* which could be compared to the worldwide acceptance of the 90's VAR for linear *portfolios*. This work aims to compare the efficiency of some methodologies for risk assessment in *portfolios* containing WTI (West Texas Intermediate) options. The risk is calculated using different methodologies presented at academic studies and the result of each of them is compared to the assessment using the *Full Monte Carlo* method in order to define their efficiency.

Keywords

Risk Assessment; Value-at-Risk; options; derivatives; WTI; non-linear *portfolios*.

Sumário

1	Introdução	12
1.1	Mercado de derivativos	13
1.1.1	Surgimento e desenvolvimento	13
1.1.2	O mercado de petróleo no Brasil e o uso de derivativos.....	16
1.2	Os derivativos no mercado de energia	20
2	Opções e Carteiras não lineares	22
2.1	Distinção entre derivativos lineares e não-lineares	22
2.2	Opções	24
2.2.1	Propriedade das opções de futuros.....	26
2.2.2	Modelo de Black	28
2.2.3	Gregas	29
2.2.4	Estratégias mais famosas	34
2.2.5	Trading de opções de futuros de <i>commodities</i> : decisões e impacto das gregas	37
3	Modelos de Simulação.....	43
3.1	Simulação de Monte Carlo.....	43
3.2	Movimento Geométrico Browniano	44
3.2.1	O Lema de Itô.....	46
3.3	Simulação de Monte Carlo de um Movimento Geométrico Browniano	48
4	Métricas de Risco: metodologia e aplicação	49
4.1	VaR.....	49
4.2	Metodologias amplamente difundidas.....	51
4.2.1	Avaliação Plena ou <i>Full Monte Carlo</i>	51
4.2.2	Avaliação Local: Delta-VaR	57
4.2.3	Delta-Gamma-VaR	58
4.3	Novas metodologias propostas.....	59
4.3.1	Modelo quadrático Delta-Gamma VaR	60
4.3.2	Vega-VaR	62
4.3.3	VaR com derivadas de ordens superiores	65
4.3.4	Capital-at-Risk	67
4.3.5	VaR Modificado, MVaR ou DGSK: inclusão de momentos superiores	68
5	Métricas de Risco: aplicação e resultados	70
5.1	O ativo objeto	70
5.2	As estratégias.....	70
5.3	Metodologias aplicadas.....	71
5.3.1	<i>Full Monte Carlo</i>	71
5.4	Resultados obtidos: análise comparativa.....	75
6	Conclusão	79
7	Referências Bibliográficas	81

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Histórico de preços de WTI (Fonte: Reuters).....	18
Gráfico 2 – <i>Payoff</i> de contratos futuros.....	23
Gráfico 3 - <i>Payoff</i> de opções.....	24
Gráfico 4 - Variação de delta em relação ao valor do contrato futuro	30
Gráfico 5 - Variação de delta em relação à data de vencimento (<i>call</i>)	30
Gráfico 6 - Variação de delta em relação à data de expiração (<i>put</i>)	31
Gráfico 7 - Variação de theta em relação ao valor do contrato futuro	31
Gráfico 8 - Variação do theta em relação ao prazo de expiração	32
Gráfico 9 - Gamma.....	33
Gráfico 10 - Variação do vega em relação ao valor do contrato futuro	33
Gráfico 11 - Variação do vega em relação ao prazo para expiração	33
Gráfico 12 - <i>Bull Spread</i>	35
Gráfico 13 - <i>Bear Spread</i>	35
Gráfico 14 - <i>Butterfly</i>	36
Gráfico 15 - Compra de <i>Straddle</i>	36
Gráfico 16 - Venda de <i>straddle</i>	37
Gráfico 17 – <i>Strangle</i>	37
Gráfico 18 - Sensibilidade aos fatores de risco - <i>Long</i> em <i>call</i>	39
Gráfico 19 - Sensibilidade aos fatores de risco - <i>Long</i> em <i>bull spread</i>	39
Gráfico 20 - Sensibilidade aos fatores de risco - <i>Long</i> <i>Bear Spread</i>	40
Gráfico 21 - Sensibilidade aos fatores de risco – <i>butterfly</i>	40
Gráfico 22 - Sensibilidade aos fatores de risco - <i>Long</i> em <i>straddle</i>	41
Gráfico 23 - Sensibilidade aos fatores de risco - Venda de <i>straddle</i>	41
Gráfico 24 - Sensibilidade aos fatores de risco - <i>strangle</i>	42
Gráfico 25 - Retorno do preço de WTI	50
Gráfico 26 - Histograma de retornos esperados de WTI	50
Gráfico 27 - Distribuição segundo premissas de não-linearidade (Fonte: Jorion 2003)...	52
Gráfico 28 - Sensibilidade de <i>call</i> de WTI à taxa de juros	55
Gráfico 29 - Distribuição segundo premissas de linearidade e normalidade do delta-VaR (Fonte: Jorion 2003)	58
Gráfico 30 - Superfície de volatilidade (Fonte: Reuters)	63
Gráfico 31 - <i>Smile</i> : ajuste polinomial.....	73
Gráfico 32 - Resultado VaR <i>Full</i> Monte Carlo.....	74
Gráfico 33 - Resultado da avaliação de risco (valores relativos).....	76
Gráfico 34 - Média das 5 metodologias (valor relativo)	76
Gráfico 35 - Desvio-padrão das 5 metodologias (valor relativo)	77
Gráfico 36 - Média e desvio-padrão de cada metodologia (valores relativos).....	77
Gráfico 37 - Resultado da avaliação de risco (valores relativos).....	78

Lista de Tabelas

Tabela 1 - LIBOR 3 meses em dólares americanos (Fonte: GlobalRates.com).....	55
Tabela 2 - Sensibilidade de opções de futuro à taxa de juros.....	56
Tabela 3 - Parâmetros do Movimento Geométrico Browniano	71
Tabela 4 - Matriz de Correlação.....	72
Tabela 5 - Matriz de Cholesky	72
Tabela 6 - Resultado da avaliação de risco (valores absolutos)	75
Tabela 7 – Resultado da avaliação de risco (valores relativos).....	76

Tudo fez formoso em seu tempo; também pôs o mundo no coração do homem, sem que este possa descobrir a obra que Deus fez desde o princípio até ao fim.

Eclesiastes 3:11