

Viktor Nigri Moszkowicz

**Validação do Critério de
Avaliação de Projetos Utilizando a
Teoria das Opções Reais: E & P de
campos de petróleo nacionais, supondo
preços como movimento geométrico
browniano**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Departamento de Engenharia Industrial

Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Produção: Finanças e Análise de Investimentos

Rio de Janeiro

Fevereiro de 2003

Viktor Nigri Moszkowicz

**Validação do Critério de Avaliação de Projetos
Utilizando a Teoria das Opções Reais: E & P de
campos de petróleo nacionais, supondo preços como
movimento geométrico browniano**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção: Finanças e Análise de Investimentos do Departamento de Engenharia Industrial.

Orientador: José Paulo Teixeira

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2003

Viktor Nigri Moszkowicz

**Validação do Critério de Avaliação de Projetos
Utilizando a Teoria das Opções Reais: E & P de
campos de petróleo nacionais, supondo preços como
movimento geométrico browniano**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
graduação em Engenharia de Produção: Finanças e Análise
de Investimentos do Departamento de Engenharia Industrial.
Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. José Paulo Teixeira

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Marco Antonio Dias

Petrobras

Prof. Carlos Patricio Samanez

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Leonardo Lima Gomes

Guaraniana Comercializadora de Energia

Rio de Janeiro, 14 de Fevereiro de 2003

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

Viktor Nigri Moszkowicz

Gradou-se *cum laude* em Engenharia Mecânica na Universidade Federal do Rio de Janeiro em 2000. Recebeu o título Professor Afonso H. de Brito, como melhor aluno que colou grau em 2001 pelo Departamento de Engenharia Mecânica, e o prêmio Petrobrás de Tecnologia de Dustos (PRODUT) edição 2000. Participou do Projeto PUC/Petrobrás sobre Opções Reais, durante o ano de 2002, coordenado pelo engenheiro da Petrobras Marco Antonio G. Dias e pelo professor José Paulo Teixeira. Trabalha na Diretoria de Planejamento Estratégico e Orçamento (DIPO) da Companhia Vale do Rio Doce (CVRD)

Ficha Catalográfica

Moszkowicz, Viktor Nigri

Validação do critério de avaliação de projetos utilizando a teoria das opções reais : E & P de campos de petróleo nacionais, supondo preços como Movimento Geométrico Browniano / Viktor Nigri Moszkowicz; orientador: José Paulo Teixeira. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Industrial, 2003.

[11],157f. : il. ; 30 cm

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

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Análise de investimentos. 3. Avaliação de projetos. 4. Opções reais. 5. Campos de petróleo. 6. Back-testing. 7. Movimento geométrico Browniano. 8. Investimento sob incerteza. I. Teixeira, José Paulo. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

DEDICATÓRIA

Ao meu avô, Victor Tofic Nigri, que nunca deixou de acreditar em mim, trouxe alegria para a minha vida e sempre estará comigo.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Mauricio e Lilian pelo apoio constante, pelo ambiente familiar que me fornece a segurança de enfrentar os desafios. E, principalmente por me amarem e serem os melhores pais do mundo.

À minha namorada, Mariana, pelo amor, atenção especial, momentos de alegria e compreensão. Além de toda ajuda e suporte para entrar no mestrado e para terminar esta dissertação.

Aos meus irmãos Jayme e Liana pela paciência e diversão ao longo de toda a nossa vida e especialmente durante o curso.

À toda minha família principalmente minha avó, Bertha, e meu tio Tofic, pela força nos momentos difíceis.

Ao Professor José Paulo Teixeira pela sabedoria transmitida, orientação atenciosa e amizade.

Aos grandes amigos de mestrado da PUC-Rio, em especial à Alexandre e Mauricio pela tranquilidade, diversão, explicações e lições durante o curso.

A Moises Swirsky, pelas conversas enriquecedoras, conselhos intelectualmente brilhantes, apoio para entrar no curso e ajuda no melhor entendimento da área de finanças.

Para Marco Antonio Dias pela ajuda fundamental, boas idéias e atenção fornecidas durante a realização deste trabalho.

A Katia Rocha pelas dicas enriquecedoras.

Ao professor Carlos Patrício Samanez por toda a motivação e aulas instigantes ao longo do mestrado.

Ao professor Tara Badya pelo esforço e ensinamentos que enriqueceram minha formação acadêmica.

À todos os membros e demais professores do Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio que fizeram parte de minha vida e me ajudaram nestes dois anos de curso.

Para todos os meus antigos amigos, em especial, Ricardo Shenker, Fernando, Marcio e Fabio.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

RESUMO

Moszkowicz, Viktor Nigri; Teixeira, José Paulo. **Validação do critério de avaliação de projetos utilizando a teoria das opções reais: E&P de campos de petróleo nacionais**, supondo preços como movimento geométrico browniano. Rio de Janeiro, 2003. 157p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

As vantagens de incluir a flexibilidade gerencial e a analogia às opções financeiras nos critérios de avaliação de projetos têm sido alvo de discussões teóricas no ramo das finanças. Diversos autores criticam os métodos de análise de investimentos utilizados correntemente, que têm como principal representante o fluxo de caixa descontado (FCD), apoiando-se na noção de que os gerentes ao tomarem decisões devem utilizar técnicas que reflitam as flexibilidades disponíveis. Nesse sentido, a presente dissertação tem por finalidade validar as vantagens sugeridas na utilização da teoria de Opções Reais através de um *back-testing*, que tem como objeto campos de petróleo com características representativas da indústria petrolífera brasileira. Estes testes serão realizados para o período de 1970 a 1990, sendo contemplada a incerteza econômica e excluindo-se as incertezas técnicas. O modelo desenvolvido em Excel e VBA (Visual Basic for Applications) para decisões de investimento considera as opções de espera de até dois anos e de escolha entre três intensidades de produção. O Movimento Geométrico Browniano foi assumido como o processo estocástico para representar a evolução dos preços reais do petróleo em dólares americanos ao longo do tempo, e sua volatilidade foi variada a título de análise de sensibilidade. Por fim, cabe ressaltar que os resultados obtidos não devem ser aceitos como definitivos, e sim como base de futuros trabalhos na linha de estudos empíricos para verificar e validar as vantagens teóricas das Opções Reais em relação aos demais critérios utilizados na prática.

Palavras-chave

Análise de investimentos, avaliação de projetos, opções reais, campos de petróleo, back-testing, movimento geométrico Browniano, investimento sob incerteza.

ABSTRACT

Moszkowicz, Viktor Nigri; Teixeira, José Paulo (Advisor). Validation of the project valuation criterion using the real options theory: brazilian oil fields E&P, considering prices as geometric brownian motion. Rio de Janeiro, 2003. 157 p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Financial researchers have discussed a lot about the theoretical advantages of including the managerial flexibility and the financial options analogy in projects valuation criteria. Plenty of authors criticize the currently used investment analysis methods, mainly represented by the discounted cash flow, supported by the notion that the managers should use techniques that better reflect the available flexibility to take their decisions. In this sense, the present dissertation has the objective of validating the suggested advantages of using the Real Options theory through a *back-testing* focused on oil fields with Brazilian oil industry representative characteristics. Those tests will be carried out for the 1970-1990 period, considering the economic uncertainty and excluding the technical uncertainties. The investment decisions model developed in Excel and VBA (Visual Basic for Applications) contemplates the options of waiting till two years and of choosing among three exploitation intensities. The Geometric Brownian Motion was assumed as the stochastic process to represent the real oil prices time evolution, and its volatility was varied to generate a sensibility analysis. Finally it is worthy to state that the results shall not be accepted as definitive, and just as a foundation to future studies on the empirical research line of verifying and validating the theoretical advantages of the Real Options with regard to others currently used criteria.

Keywords

Investment analysis, projects valuation, real options, oil fields, back-testing, geometric Brownian motion, investment under uncertainty.

SUMÁRIO

LISTA DE GRÁFICOS, TABELAS E FIGURAS.....	11
1. Introdução.....	12
2. Análise de Investimentos, Introdução às Opções Reais e Revisão Bibliográfica	17
2.1. Análise de Investimentos.....	17
2.1.1. Métodos usuais para análise de investimentos	17
2.1.2. Necessidade de maior flexibilidade nas análises	22
2.2. Método das Opções Reais	25
2.2.1. Base matemática.....	26
2.1.2. Ferramentas de modelagem dos problemas de Opções Reais.....	30
2.3. Aplicações da teoria de Opções Reais à Indústria de extração do Petróleo, Revisão Bibliográfica.....	32
2.3.1. Option Valuation of Claims on Real Assets: The Case of Offshore Petroleum Leases (Pindyck, Siegel e Smith, 1988).....	33
2.3.2. Real Options in Upstream Petroleum: Overview of Models and Applications (Dias, 2001).....	39
2.3.3. The Long-Run Evolution of Energy Prices (Pindyck, 1999).....	41
3. Modelagem do Back-Testing do método das Opções Reais	45
3.1. Entradas:	47
3.2. Modelo para o Back-Testing:.....	49
3.2.1. Determinação da Equação Diferencial Parcial	50
3.2.2. Método de decisão pelo VPL.....	53
3.2.2.1. Ex-Ante.....	53
3.2.2.2. Ex-Post.....	54
3.2.3. Método das Opções Reais:	54
3.2.3.1. Qualidade da reserva, q_k	54
3.2.3.2. Convenience Yield, δ	59
3.2.3.3. Ex-Ante.....	61
3.2.3.4. Método das Diferenças Finitas	61
3.2.3.5. Determinação da Curva de Gatilhos para exercício Ótimo.....	64
3.2.3.6. Ex-post	67
3.3. Modalidades de teste.....	67
4. Apresentação e Resultados do Back-testing	69
4.1. Apresentação do Back-Testing.....	69
4.1.1. Caso base 1: características técnicas do projeto e investimento constantes.....	69
4.1.2. Caso base 2: Moneyness constante a cada ano	70
4.1.3. Curvas de Produção de Petróleo.....	71
4.1.4. Preços do Petróleo	73

4.1.5. Taxa Livre de Risco	75
4.1.7. Investimento para Desenvolvimento do Campo	77
4.1.8. Tratamento da Inflação.....	78
4.1.9. Preço de Referência.....	78
4.2. Resultados do Back-testing	79
4.2.1. Resultados do caso base de características técnicas do projeto e custos de investimento constantes:.....	80
4.2.1.1. Volatilidade dos preços reais do petróleo igual a 25%a.a.	80
4.2.1.2. Volatilidade dos preços reais do petróleo igual a 15%a.a.	81
4.2.1.3. Volatilidade dos preços reais do petróleo igual a 35%a.a.	82
4.2.1.4. Resumo	82
4.2.2. Resultados do caso base com <i>money</i> constante.....	83
4.2.2.1. melhor alternativa dos projetos com VPL ex-ante na ordem de US\$20 milhões e volatilidades do preço do petróleo de 15%, 25% e 35%:.....	83
4.2.2.2. Resumo	86
5. Conclusão.....	88
6. Referências Bibliográficas	92
Apêndice.....	96
Apêndice 1. Determinação Alternativa da Equação Diferencial Parcial.....	97
Apêndice 2. Teste do modelo desenvolvido	99
Apêndice 3. Tabelas com dados da produção de petróleo em cada alternativa	101
Apêndice 4. Cálculo do Investimento para Desenvolvimento do Campo ...	102
Apêndice 5. Gráficos de gatilhos para exercício ótimo para o caso base de características técnicas do projeto e custos de investimento constantes...	103
Apêndice 6. Gráficos de gatilhos para exercício ótimo de 1970 a 1990 do caso base de <i>money</i> constante e igual a US\$20 milhões. Para as volatilidades: 15%, 25% e 35%.....	106
Apêndice 7. Programa desenvolvido em VBA	138
Anexo. Dados Estatísticos da Indústria do Petróleo	146

LISTA DE GRÁFICOS, TABELAS E FIGURAS

Tabela 2.1- Comparação das Variáveis para Modelos de Precificação de uma Opção de Compra Financeira e uma Reserva Não Desenvolvida de Petróleo	37
Tabela 2.2- Parâmetros utilizados para cálculo da Reserva Não Desenvolvida	38
Tabela 2.3 - Valoração por Opções Reais para Diferentes Variâncias e Tempos de Expiração: Reservas Não Desenvolvidas com Custos de Desenvolvimento Altos (valores em milhões US\$)	39
Tabela 2.4 - Taxas de Crescimento Percentuais e Desvio Padrão Anuais do Petróleo	44
Gráfico 3.1 - Visualização equação Business.....	55
com qualidades diferentes (Fonte: Dixit, 1988 e Dias, 2002).....	56
Gráfico 3.3- Visualização equação Fluxo de Caixa Rígido	57
Gráfico 3.4 - Superposição das curvas dos métodos	58
Business e Fluxo de Caixa Rígido	58
Figura 3.1 - Grade para visualização do método das diferenças finitas	62
Figura 3.3 - Procedimento para realização da programação dinâmica conjuntamente ao método de diferenças finitas explícito	66
Gráfico 3.5 - Exemplo de curva de gatilho para exercício ótimo.....	67
Tabela 4.1 - Qualidades econômicas da reserva para cada alternativa de produção	70
Gráfico 4.1 - Curva de produção da alternativa 1	72
Gráfico 4.2 - Curva de produção da alternativa 2	72
Gráfico 4.3 - Curva de produção da alternativa 3	72
Gráfico 4.4 - As três curvas de produção sobrepostos	73
Gráfico 4.5 - Preços nominais do petróleo UK Brent no período de janeiro de 1957 a maio de 2002 em dólares por barril.	
(Fonte FMI Statistics).....	74
Gráfico 4.6 - Preços reais por barril do petróleo UK Brent no período de janeiro de 1957 a maio de 2002 em dólares ao nível de preços do último mês. (Fonte FMI Statistics)	74
Tabela 4.2 - Preços reais do petróleo	75
Tabela 4.3 - Dados para determinação da taxa.....	
a que o tesouro americano se financia	76
Tabela 4.4 - Investimento em desenvolvimento do campo para cada alternativa com base no preço de US\$15/barril	77
Gráfico 4.7 - Regressão da equação para o coeficiente multiplicador do investimento em desenvolvimento, em função do preço de petróleo produzido.....	78
Tabela 4.5 - Características técnicas e econômicas em comum mantidas ao longo dos testes	80
Tabela 4.6 - Resultados do back-testing para o caso	
das características técnicas permanecerem.....	
constantes, volatilidade variando de 15% a 35% a.a.....	83

Gráfico 4.8 - Curvas de gatilho para o ano de 1970 e volatilidade de 15%.....	83
Gráfico 4.9 - Zoom in das curvas de gatilho para o ano de 1970 e volatilidade de 15%.....	84
Gráfico 4.10 - Curvas de gatilho para o ano de 1970 e volatilidade de 25%.....	84
Gráfico 4.11 - Zoom in das curvas de gatilho para o ano de 1970 e volatilidade de 25%.....	85
Gráfico 4.10 - Curvas de gatilho para o ano de 1970 e volatilidade de 25%.....	85
Tabela 4.1 - Parâmetros para realização do Teste.....	99
Gráfico A.1.1- Curva de gatilhos gerada pelo modelo desenvolvido nesta dissertação.....	100
Gráfico A.1.2- Curva de gatilhos gerada pelo modelo desenvolvido pelo convênio Petrobrás/PUC-Rio.....	100
Tabela A3.1 – Produção de petróleo para cada alternativa..... em barris por dia.....	101
Tabela A4.1 - Investimento para Desenvolvimento do Campo pela alternativa 1	102
Tabela A4.2 - Investimento para Desenvolvimento do Campo pela alternativa 2	102
Tabela A4.3 - Investimento para Desenvolvimento do Campo pela alternativa 3	102
Gráfico A5.1 - Volatilidade 15%, método Business.....	103
Gráfico A5.2 - Volatilidade 15%, método Fluxo de Caixa Rígido.....	103
Gráfico A5.3 - Volatilidade 25%, método Business.....	104
Gráfico A5.4 - Volatilidade 25%, método Fluxo de Caixa Rígido.....	104
Gráfico A5.5 - Volatilidade 35%, método Business.....	105
Gráfico A5.6 - Volatilidade 35%, método Fluxo de Caixa Rígido.....	105
Gráficos A6.1 a A6.61 correspondem aos anos de 1970 a 1990, para as volatilidades estimadas do petróleo de 15%, 25% e 35% ao ano.....	106
Cartograma AN.1 - Reservas provadas de petróleo, segundo regiões geográficas, em 31/12/2001 (bilhões barris).....	146
Tabela AN.1 - Reservas provadas de petróleo, segundo regiões geográficas, países e blocos econômicos, 1992-2001.....	147
Gráfico AN.2 - Evolução das reservas provadas de petróleo, por localização (terra e mar), 1992-2001.....	148
Gráfico AN.3 - Distribuição percentual das reservas provadas de petróleo, segundo Unidades da Federação, em 31/12/2001.....	149
Quadro AN.1 - Blocos na fase de exploração em 31/12/2001.....	151
Quadro AN.2 - Campos em desenvolvimento da fase de produção em 31/12/2001.....	153
Quadro AN.3 - Campos na fase de produção em 31/12/2001.....	154