



Marcela Lobo Francisco

**A importância da flexibilidade gerencial: análise de
investimentos usando a teoria das Opções Reais da planta**

GTL

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: José Paulo Teixeira

Co-orientador: Marco Antonio Guimarães Dias

Rio de Janeiro

Março de 2007

Marcela Lobo Francisco

**A importância da flexibilidade gerencial: análise de
investimentos usando a teoria das Opções Reais da planta
GTL**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio.
Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

José Paulo Teixeira
Orientador
DEI-PUC. Rio

Carlos Patrício Samanez
DEI-PUC. Rio

Marco Antonio Guimarães Dias
Co-orientador
Petrobras

Paulo Henrique Souto
DEI-PUC. Rio

José Eugenio Leal
Coordenador (a) Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 06 de março de 2007

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

Marcela Lobo Francisco

Formada em Estatística pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, em Ciências Econômicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Participou do projeto PUC/Petrobras de análise de investimentos usando a teoria das Opções Reais de uma planta GTL

Ficha Catalográfica

Francisco, Marcela Lobo

A importância da flexibilidade gerencial: análise de investimentos usando a teoria das opções reais da planta GTL / Marcela Lobo Francisco; orientador: José Paulo Teixeira; co-orientador: Marco Antonio Guimarães Dias. – 2007.
137 f.: il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
Inclui bibliografia

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Análise de investimento. 3. Opções reais. 4. Processo estocástico. 5. Simulação de Monte Carlo. 6. Movimento geométrico browniano. I. Teixeira, José Paulo. II. Dias, Marco Antonio Guimarães. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. IV. Título.

CDD: 658.5

As minhas irmãs, Daniela e Luciana, pelo amor, apoio, carinho e atenção, sem as quais eu não teria a coragem para seguir em frente quando a situação se encontrava difícil.

A minha mãe, mulher de extrema coragem e força, na qual eu me inspiro e procuro seguir os passos, sem a qual eu não teria a força necessária para mais uma vez seguir em frente e me manter de pé.

Ao meu pai, homem de extrema inteligência e capacidade, no qual eu me inspiro e procuro seguir os passos, sem o qual eu não teria a sabedoria necessária para mais uma vez seguir em frente e me manter de pé.

Agradecimentos

Aos professores José Paulo, Carlos Patrício, Tara e Marco Antonio, sem os quais eu não conseguiria obter o conhecimento necessário para fazer este trabalho.

A Petrobras / CENPES pelo apoio técnico e financeiro, indispensáveis para a realização deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Por fim, a Pontifícia Universidade Católica por todo conhecimento transmitido.

Resumo

Francisco, Marcela Lobo; Teixeira, José Paulo. **A importância da flexibilidade gerencial: análise de investimentos usando a teoria das Opções Reais da planta GTL.** Rio de Janeiro, 2007. 137p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O objetivo desta dissertação é fazer uma análise de investimento usando a teoria das Opções Reais de uma planta GTL. Esta análise é a mais indicada, pois se verificam várias flexibilidades nesta planta em relação aos *inputs* (pode ser usado mais de um produto como matéria-prima) e em relação aos *outputs* (existem várias combinações possíveis de produção). Torna-se de grande importância neste caso saber calcular o valor destas opções e verificar se vale a pena ou não a construção de uma planta que possa usar como matéria prima mais de um produto e/ou que possa produzir mais de uma possível combinação de produção. A construção de uma planta que possua a possibilidade de trocar de insumo e/ou trocar a combinação de produção só será viável caso o valor criado pela flexibilidade seja maior do que o custo necessário para implementá-la (investimento adicional e custos operacionais extras). Sendo assim, o objetivo desta dissertação é calcular até quanto a Petrobras estaria disposta a pagar para ter uma planta que possua a opção de *switch use* dos *inputs* e/ou *outputs*, o valor que ela teria que investir para usufruir desta flexibilidade, e através da diferença entre estes valores verificar se vale a pena ou não a construção da planta com flexibilidade de *input* e/ou *output*.

Palavras-chave

Análise de investimento; opções reais; processo estocástico; simulação de Monte Carlo; movimento geométrico browniano.

Abstract

Francisco, Marcela Lobo; Teixeira, José Paulo. **The importance of managerial flexibility: investment analysis using the real option of the plant GTL.** Rio de Janeiro, 2007. 137p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The objective of this dissertation is to do a analysis of investment using the real option theory for the plant GTL. This analysis is the best because there are many flexibilities in this plant in relation the inputs (the plant can operate with several inputs) and in relation the outputs (there are many possible combination of production). In this case is very important to know how to calculate the value of these options and to verify if it is worthwhile or not the construction of a plant that could use two *inputs* and/or is able to produce several possible combinations of production. The construction of the plant that can change the input and/or can change the production combination is viable if the value created by flexibility is larger than the necessary cost to implement its (additional investment and extra operational costs). So, the objective of this dissertation is to calculate until hen Petrobras would be available to pay in order to have a plant that has the option of swith use of inputs and/or outputs, the value it would have to invest to use this flexibility, and through the difference between these values verify if is worthwhile or not the construction of the plant with the flexibility of input and/or output.

Keywords

Investment analysis, real option; stochastic processes; Monte Carlo simulation; movimento geométrico browniano.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3 OPÇÃO	21
3.1. Opção Americana X Opção Européia	27
3.2. As Opções Reais e o Valor da Flexibilidade Gerencial	27
3.3. Principais tipos de Opções Reais	30
3.3.1. Opção de Adiar um investimento (opção de espera)	30
3.3.2. Opção de Expansão	30
3.3.3. Opção de Redução	31
3.3.4. Opção de Paralisação Temporária das Operações	31
3.3.5. Opção de Abandono	31
3.3.6. Opção de Troca de Uso	32
3.3.7. Opção de Investimento em Informação	36
3.4. Análise Clássica X Análise com Opções Reais	37
4 PROCESSOS ESTOCÁSTICOS	40
4.1. Principais Processos Estocásticos	42
4.1.1. Processo de Markov	42
4.1.2. Random Walk	43
4.1.3. Processo Autoregressivo de Primeira Ordem (AR 1)	44
4.1.3. Processo de Wiener	45
4.1.3.1. Movimento Browniano com Drift ou Movimento de Wiener generalizado (Movimento Aritmético Browniano)	46
4.1.4. Movimento Browniano Generalizado - o Processo de Ito	47
4.1.4.1. Movimento Geométrico Browniano (MGB)	48
4.1.4.2. Processo de Reversão à Média	54

5 SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO	56
5.1. Simulação de Monte Carlo na precificação de Opções	59
6 PROJETO GAS TO LIQUID (GTL)	62
6.1. Estágios da Tecnologia	66
6.1.1. Geração do Gás de síntese	66
6.1.2. Processo de Fischer–Tropsch (FT)	67
6.1.3. Hidroprocessamento	68
7 CÁLCULO DO VALOR DA OPÇÃO DE <i>SWITCH USE</i> DOS <i>INPUTS</i> E/OU <i>OUTPUTS</i>	70
7.1. Estimação dos parâmetros (<i>drift</i> e volatilidade) das séries de preços dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	72
7.2. Simulação de Monte Carlo dos preços dos <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i>	81
7.3. Cálculo do VPL sem flexibilidade	86
7.4. Cálculo do VPL com flexibilidade	95
7.4.1. Valor da opção de <i>switch use</i> dos <i>inputs</i> e/ou <i>outputs</i>	101
8 CONCLUSÃO	112
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
APÊNDICE A DEDUÇÃO DA EQUAÇÃO DIFERENCIAL PARCIAL DE BLACK-SCHOLES-MERTON	117
APÊNDICE B OUTRO PERFIL DE PRODUÇÃO PARA A PLANTA SEM FLEXIBILIDADE	122
APÊNDICE C OUTRO OPEX E OUTRA EFICIÊNCIA PARA A PLANTA GTL	127
APÊNDICE D CÁLCULO DO VPL COM E SEM FLEXIBILIDADE DE <i>INPUT</i> E/OU <i>OUTPUT</i> PARA 50.000 SIMULAÇÕES	132

"Poucos homens têm o privilégio de ter o momento de sua morte como o mais alto de sua existência: são aqueles que souberam se preparar para o fim"

Lista de figuras

Figura 3.1: Gráfico de uma opção de compra	23
Figura 3.2: Gráfico da região de exercício de uma opção de compra	24
Figura 3.3: Gráfico de opção de compra antes de expiração	24
Figura 3.4: Gráfico de uma opção de venda	25
Figura 3.5: Gráfico de região de exercício de uma Opção de Venda	25
Figura 3.6: Gráfico de Opção de Venda antes da expiração	26
Figura 3.7: Quando a flexibilidade gerencial é valiosa	29
Figura 3.8: Fluxo de caixa gerado pela tecnologia A	33
Figura 3.9: Fluxo de caixa gerado pela tecnologia B	34
Figura 4.1: Gráfico da variância no Movimento Geométrico Browniano	51
Figura 4.2: Gráfico da série de preços do óleo pesado	52
Figura 4.3: Gráfico do Intervalo de Confiança para a série de Óleo Pesado	54
Figura 5.1: Ilustração da SMC	57
Figura 5.2: Ilustração dos passos da SMC	60
Figura 6.1: Funcionamento de uma planta GTL	69
Figura 7.1: Gráfico da evolução da série de preços do GN	73
Figura 7.2: Gráfico da evolução da série de preços do OP	74
Figura 7.3: Gráfico da evolução das séries de preços dos <i>Inputs</i>	75
Figura 7.4: Gráfico da evolução dos preços da Nafta	76
Figura 7.5: Gráfico da evolução dos preços do Diesel.	77
Figura 7.6: Gráfico da evolução dos preços da Parafina.	78
Figura 7.7: Gráfico da evolução dos preços do Lubrificante	79
Figura 7.8: Gráfico da evolução das séries de preços dos <i>Outputs</i>	80
Figura 7.9: <i>Sample Paths</i> do processo real e neutro ao risco do GN	83
Figura 7.10: <i>Sample Paths</i> do processo real e neutro ao risco do OP	84
Figura 7.11: <i>Sample Paths</i> do processo real e neutro ao risco da Nafta	84
Figura 7.12: <i>Sample Paths</i> do processo real e neutro ao risco do Diesel	85
Figura 7.13: <i>Sample Paths</i> do processo neutro ao risco da Parafina	85
Figura 7.14: <i>Sample Paths</i> do processo neutro ao risco do Lubrificante	86

Figura 7.15: Possíveis combinações de produção dos <i>outputs</i>	92
Figura 7.16: Distribuição do VPL sem flexibilidade e sem correlação entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia	95
Figura 7.17: Distribuição do VPL com flexibilidade <i>só</i> de <i>input</i> e sem correlação entre estes para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia	98
Figura 7.18: Distribuição do VPL com flexibilidade <i>só</i> de <i>output</i> e sem correlação entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia	99
Figura 7.19: Distribuição do VPL com flexibilidade de <i>input e output</i> e sem correlação entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia	100
Figura 7.20: Distribuição do VPL sem flexibilidade e com correlação entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia	106
Figura 7.21: Distribuição do VPL com flexibilidade <i>só</i> de <i>input</i> e com correlação entre estes para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia	107
Figura 7.22: Distribuição do VPL com flexibilidade <i>só</i> de <i>output</i> e com correlação entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia	108
Figura 7.23: Distribuição do VPL com flexibilidade de <i>input e output</i> e com correlação entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia	109
Figura 7.24: VPL com e sem flexibilidade para diferentes correlações entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia	110
Figura 7.25: VPL com e sem flexibilidade para diferentes correlações entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia	111
Figura D.1: Distribuição do VPL sem flexibilidade e com correlação para 50.000 simulações	133
Figura D.2: Distribuição do VPL com flexibilidade <i>só</i> de <i>input</i> e com correlação entre estes para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia e 50.000 simulações	134
Figura D.3: Distribuição do VPL com flexibilidade <i>só</i> de <i>output</i> e com correlação entre os <i>inputs</i> para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia e 50.000 simulações	135

Figura D.4: Distribuição do VPL com flexibilidade de *input* e *output* e com correlação entre os *inputs* para uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia e 50.000 simulações

136

Lista de tabelas

Tabela 3. 1: Opção Financeira × Opção Real	22
Tabela 3.2: Opções Existentes em um projeto de Investimento	39
Tabela 7.1: Tamanho da amostra e unidade de medida dos preços	72
Tabela 7.2: Parâmetro do modelo MGB	81
Tabela 7.3: Dados para o cálculo do VPL	87
Tabela 7.4: CAPEX ppb dia para uma planta que usa como <i>input</i> só o GN	88
Tabela 7.5: CAPEX total e sua distribuição para uma planta que usa como <i>input</i> só o GN	89
Tabela 7.6: CAPEX total e sua distribuição para uma planta que usa como <i>input</i> só o OP	89
Tabela 7.7: CAPEX por barril dia para uma planta que usa como <i>input</i> só o OP	89
Tabela 7.8: OPEX de plantas sem flexibilidade	90
Tabela 7.9: Porcentagem de produção de cada <i>output</i> para uma planta sem flexibilidade	93
Tabela 7.10: VPL de plantas sem flexibilidade	93
Tabela 7.11: Porcentagem de produção de cada <i>output</i> para uma planta com flexibilidade	96
Tabela 7.12: VPL das plantas com flexibilidade só de <i>input</i>	97
Tabela 7.13: VPL das plantas com flexibilidade só de <i>output</i>	99
Tabela 7.14: VPL das plantas com flexibilidade de <i>input</i> e <i>output</i>	100
Tabela 7.15: Valor da opção de <i>switch</i> só dos <i>inputs</i> , só dos <i>outputs</i> e dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	101
Tabela 7.16: CAPEX e OPEX para uma planta com flexibilidade	103
Tabela 7.17: Custos extras na construção da planta flexível	103
Tabela 7.18: VPL com e sem flexibilidade para diferentes correlações entre os <i>inputs</i> de uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia	105
Tabela 7.19: Valor da flexibilidade dos <i>inputs</i> para diferentes correlações de uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia	109

Tabela 7.20: VPL com e sem flexibilidade para diferentes correlações entre os <i>inputs</i> de uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia	110
Tabela 7.21: Valor da flexibilidade dos <i>inputs</i> para diferentes correlações de uma planta com capacidade de 72.000 bbl/dia	111
Tabela B.1: Perfil de produção A para uma planta sem flexibilidade	122
Tabela B.2: VPL de plantas com e sem flexibilidade para o perfil de produção	122
Tabela B.3: Valor da opção de <i>switch</i> só dos <i>inputs</i> , só dos <i>outputs</i> e dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> para o perfil de produção A	123
Tabela B.4: Perfil de produção B para uma planta sem flexibilidade	124
Tabela B.5: VPL de plantas c/e sem flexibilidade para o perfil de produção	124
Tabela B.6: Valor da opção de <i>switch</i> só dos <i>inputs</i> , só dos <i>outputs</i> e dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> para o perfil de produção B	125
Tabela B.7: VPL sem e com flexibilidade de <i>output</i> para diferentes perfis de produção de uma planta com capacidade de 35.000 bbl/dia	126
Tabela C.1: Valores da planta GTL com e sem flexibilidade para um novo opex , uma nova eficiência e um $\alpha = 0,99$	127
Tabela C.2: Valor da opção de <i>switch</i> só dos <i>inputs</i> , só dos <i>outputs</i> e dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> para outro opex e considerando $\alpha = 0,99$	128
Tabela C.3: Valores da planta GTL com e sem flexibilidade para um novo outro opex , uma nova eficiência e um $\alpha = 0,92$	128
Tabela C.4: Valor da opção de <i>switch</i> só dos <i>inputs</i> só dos <i>outputs</i> e <i>inputs</i> e <i>outputs</i> para um novo opex, uma nova eficiência da planta e um $\alpha = 0,92$	129
Tabela C.5: Valores do VPL com e sem flexibilidade para diferentes: OPEXs, rentabilidades e perfis de produção para uma planta com 35.000 bbl/dia	130
Tabela D.1: VPL com e sem flexibilidade para 50.000 simulações	132
Tabela D.2: Valor da opção de <i>switch</i> só dos <i>inputs</i> só dos <i>outputs</i> e <i>inputs</i> e <i>outputs</i> para 50.000 simulações	137