



Letícia de Almeida Costa

**Avaliação Econômica do Projeto GTL: uma
Aplicação da Teoria de Opções Reais com
Processo de Reversão à Média**

Dissertação de Mestrado

Departamento de Engenharia Industrial
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Carlos Patrício Samanez
Co-orientador: Marco Antonio Guimarães Dias

Rio de Janeiro
Março de 2007



Letícia de Almeida Costa

**Avaliação Econômica do Projeto GTL: uma Aplicação da
Teoria de Opções Reais com Processo de Reversão à
Média**

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.

Prof. Carlos Patrício Samanez

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Marco Antonio Guimarães Dias

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio / Petrobras

Prof. José Paulo Teixeira

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. Paulo Henrique Soto Costa

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

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

Rio de Janeiro, março de 2007

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

Letícia de Almeida Costa

Graduou-se em Ciências Econômicas pela PUC-Rio em Janeiro de 2002, onde foi monitora em diversas disciplinas. Durante o mestrado, devido ao seu rendimento acadêmico, foi beneficiada com bolsas de desempenho da PUC e participou do Projeto PUC/Petrobras de Análise de Investimentos usando a Teoria de Opções Reais.

Ficha Catalográfica

Costa, Letícia de Almeida

Avaliação Econômica do Projeto GTL: uma Aplicação da Teoria de Opções com Processo de Reversão à Média / Letícia de Almeida Costa; orientador: Carlos Patrício Samanez. – 2007.

147 f.; 30 cm

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

Incluí referências bibliográficas.

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Análise de investimento. 3. Teoria das Opções Reais. 4. Movimento de Reversão à Média. I. Samanez, Carlos Patrício. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

À minha irmã, Aline, que me possibilitou ir atrás de um sonho e realizá-lo.

Muito obrigada, amo você.

“Um sonho que se sonha só é só um sonho.
Mas, um sonho que se sonha junto, é realidade.”

(Raul Seixas)

Aos meus pais, José e Marisa, que sempre estão do meu lado
Me apoiando e incentivando em todos os momentos. Que alguma dia eu faça
pelos meus filhos o que vocês fazem por mim. Amo muito vocês.

Agradecimentos

À minha família pela torcida e pelo carinho que sempre tiveram comigo. Em especial a minha avó, Joaquina pelo apoio e paciência nos momentos finais dessa dissertação.

Ao Pedro, pelo amor, compreensão e força durante os anos do mestrado.

Aos professores Carlos Patrício e Marco Antônio, pelo estímulo, paciência, amizade e orientação que me ofereceram, sempre priorizando o meu aprendizado.

Aos professores José Paulo e Tara pelos ensinamentos dados sem os quais eu não conseguiria obter o conhecimento necessário para fazer este trabalho.

Ao professor Paulo Henrique e amigo Ivar Lira pela ajuda nas correções para a última versão deste trabalho.

Aos amigos e colegas de estudo, pela companhia e amizade nesses anos, em especial, Felipe, Marcela e Eduardo.

Ao Centro de Pesquisa da Petrobras (CENPES), em especial à equipe da Célula GTL pelo suporte financeiro e pela troca de informações e conhecimento transmitidos pelos profissionais que nos auxiliaram bastante, principalmente Luís Alberto Leite, Alessandro Oliveira, Sirlei Sousa e Henrique Cerqueira. E ao programador da Petrobras, Edison Tito, pela ajuda computacional fornecida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio, pelos auxílios concedidos e pelo apoio financeiro.

Resumo

Costa, Letícia de Almeida; Samanez, Carlos Patrício. **Avaliação Econômica do Projeto GTL: uma Aplicação da Teoria de Opções Reais com Processo de Reversão à Média**. Rio de Janeiro, 2007. 147p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade econômica de uma planta XTL usando a teoria das Opções Reais. Esta metodologia é a mais adequada para avaliar a capacidade que este tipo de projeto dispõe de trocar de *input* e/ou *output*, ou seja, eleger a cesta que maximiza o resultado final, de acordo com cada cenário. Essa política ótima permite avaliar a construção de uma planta com flexibilidades, com o investimento ocorrendo em um ambiente de incerteza, onde os preços (fatores de incerteza) serão considerados estocásticos e seguirão um Movimento de Reversão à Média. Os cálculos numéricos serão feitos através da simulação de Monte Carlo. A tecnologia, designada XTL, está dividida em duas etapas: um processo de gaseificação seguido de um processo GTL (gas-to-liquid). A gaseificação permite transformar sólidos, líquidos e gases em gás de síntese, que será usado como input do GLT. Já o GTL possibilita transformar o gás de síntese em líquidos de alta qualidade, tais como nafta, diesel, parafinas e lubrificantes. Por associação, esta dissertação faz parte de um projeto que visa aplicar a teoria de Opções Reais na avaliação de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), com a finalidade de valorar e considerar as flexibilidades inerentes a este tipo de projeto.

Palavras-chave

Análise de Investimento, Teoria das Opções Reais, Movimento de Reversão à Média.

Abstract

Costa, Leticia de Almeida; Samanez, Carlos Patrício. **Valuation of GTL Project: a Real Option Application with Mean Reversion Model.** Rio de Janeiro, 2007. 147p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The present work has as objective to analyze the investment of a XTL plant using the Real Options Theory. This methodology is adjusted to evaluate the capacity that this project has to changes its *input* and/or *output*, in other words, to elect the option that maximizes *payoff*, in accordance with each scenario, allowing to evaluate the construction of a plant with flexibilities with the investments happening in an environment of economical and/or technical uncertainties, where the prices (uncertainty factors) are stochastic and will follow the Mean Reversion Model, calculated by the Monte Carlo Simulation. The XTL technology is divided in two stages: a gasification process followed by a GTL (gas-to-liquid) process. The gasification process allows you to transform solids, liquids and gases into synthesis gas, that will be used as input of the GLT. The GTL makes possible to transform the synthesis gas into high quality liquids, such as naphtha, diesel, paraffins and lubricants. This work is part of a project, with the objective to apply the Real Options Theory in the evaluation of investments in Research and Development (R&D), aiming to price and consider the flexibilities that are inherent to this project.

Keywords

Project Valuation; Real Options; Mean Reversion Model.

Sumário

1 Introdução	14
1.1.1. Posicionamento da Dissertação	16
2 Análise de Investimentos: Método Clássico X TOR	21
2.1. Investimento	21
2.2. Método de Avaliação de Investimento Tradicional – FCD	23
2.3. Teoria das Opções Reais – TOR	24
2.3.1. Opção	24
2.3.2. Evolução Histórica das OR	26
2.3.3. Abordagem da TOR	28
2.3.4. Tipos de Opções	30
2.3.4.1. Opção de Espera	30
2.3.4.2. Opção de Expansão	31
2.3.4.3. Opção de Redução	31
2.3.4.4. Opção de Paralisação Temporária das Operações	32
2.3.4.5. Opção de Abandono	32
2.3.4.6. Opção de Troca de Input / output	32
2.3.4.7. Opção de Investimento em Informação	33
2.3.4.8. Interação entre Opções	33
2.3.5. Considerações Finais	34
3 Base Teórica	36
3.1. Processos Estocásticos	36
3.1.1. Processo de Markov	37
3.1.2. Caminho Aleatório	38
3.1.3. Processo de Wiener	39
3.1.4. Processo Generalizado de Wiener ou Processo Aritmético	40
3.1.5. Processo de Itô ou Processo Browniano Generalizado	41
3.1.6. Movimento Geométrico Browniano (MGB)	42
3.1.7. Movimento de Reversão à Média (MRM)	43
3.1.8. Processo de Poisson	46

3.1.9. Lema de Itô	48
3.2. Técnicas de Otimização Dinâmica sob Incerteza	49
3.2.1. Programação Dinâmica	49
3.2.2. Direitos Contingenciais	51
3.3. Método de Avaliação de Opções	52
3.3.1. Modelo Binomial	52
3.3.2. Simulação de Monte Carlo (SMC)	54
4 Tecnologia XTL	59
4.1. O Processo do XTL	62
4.1.1. Estágios da Tecnologia	63
4.1.1.1. Geração do Gás de síntese	63
4.1.1.2. Processo de Fischer–Tropsch	65
4.1.1.3. Hidroprocessamento	67
4.1.1.4. Gaseificação	68
4.2. Benefícios da Tecnologia XTL	71
4.3. Os Principais Players do Mercado XTL	75
4.4. Plantas XTL	78
4.4.1. Bintulu na Malásia	79
4.4.2. Plantas da SASOL	80
4.4.3. Plantas no Qatar	81
4.4.4. Estudos de Plantas na América Latina	83
4.4.5. Estudos de Plantas no Brasil	84
4.4.6. Futuras Plantas no Mundo	85
5 ESTUDO DE CASO	86
5.1. Características do Projeto	86
5.1.1. Custos da Planta GTL	86
5.1.1.1. Investimento - CAPEX	88
5.1.1.2. Custos Operacionais	90
5.1.1.3. Custos do Gás Natural	91
5.1.2. Custos das Plantas BTL, OTL e RTL	91
5.1.3. Receitas das Plantas XTL	92
5.1.4. Rendimento dos inputs	94

5.1.5. Outras Premissas do Projeto	94
5.2. Projeto XTL: Caso Particular de uma Planta de 35.000 Bpd	95
5.3. Cálculo dos Parâmetros das Séries de Preços	96
5.3.1. Cálculo Via Otimização	100
5.3.1.1. Teoria Darwiniana	101
5.3.1.2. Algoritmos Genéticos	102
5.3.2. Cálculo Via Regressão	103
5.3.3. Escolha e Análise dos Parâmetros	108
5.4. Simulação do Processo de Reversão à Média	109
6 Resultados	112
6.1. Análise de Sensibilidade	120
6.1.1. Números de Iterações	120
6.1.2. Correlações	122
6.1.3. Custos Operacionais	123
6.1.4. Investimento - CAPEX	125
6.1.5. Preços dos inputs	128
6.1.6. Preços dos Outputs	130
6.1.7. Perfil de Produção	133
7 Conclusões	135
8 Bibliografia	138
Apêndice A: Conversões das Séries de Preços	144
Apêndice B: SMC para MRM real e neutro ao risco	145

Lista de figuras

Figura 1 – Valoração da Flexibilidade Gerencial	30
Figura 2 – Processo Generalizado de Wiener	41
Figura 3 – Variância Crescente de um MGB	43
Figura 4 – MRM com tendência	45
Figura 5 – Mercado de petróleo com saltos	47
Figura 6 – Árvore Binomial em três passos	54
Figura 7 – Funcionamento da SMC	56
Figura 8 – Esquemático das etapas do processo do XTL	61
Figura 9 – Esquema de Gaseificação da RAUDI	69
Figura 10 – Tecnologia GTL da planta ORYX	83
Figura 11 – Custos do GTL (US\$/bbl)	89
Figura 12 – Divisão do CAPEX	89
Figura 13 – Divisão do CAPEX para plantas de BTL, OTL e RTL	91
Figura 14 – Distribuição de Anderson-Schulz-Flory	93
Figura 15 – Preço do Gás Natural	97
Figura 16 – Preço do Óleo Pesado	97
Figura 17 – Preço da Nafta	98
Figura 18 – Preço do Diesel	98
Figura 19 – Preço de Lubrificante	99
Figura 20 – Preço da Parafina	99
Figura 21 – Regressão para o Óleo Pesado	105
Figura 22 – Regressão para o Gás Natural	106
Figura 23 – Regressão para o Diesel	106
Figura 24 – Regressão para a Nafta	106
Figura 25 – Regressão para a Parafina	107
Figura 26 - Regressão para Lubrificante	107
Figura 27 – Simulação Real e Neutra ao Risco para o preço do GN	111
Figura 28 – Caminhos do MRM para o Gás Natural	112
Figura 29 – Caminhos do MRM para o Óleo Pesado	113
Figura 30 – Caminhos do MRM para a Nafta	113
Figura 31 – Caminhos do MRM para o Diesel	114
Figura 32 – Caminhos do MRM para o Lubrificante	114

Figura 33 – Caminhos do MRM para a Parafina	115
Figura 34 – Histograma do VPL fixo Usando só GN	117
Figura 35 - Histograma do VPL fixo Usando só OP	118
Figura 36 - Histograma do VPL fixo com opção de input	118
Figura 37 - Histograma do VPL com opção de output usando GN	119
Figura 38 - Histograma do VPL com opção de output usando OP	119
Figura 39 - Histograma do VPL com opção de input e output	120
Figura 40 – VPL´s para diferentes números de iterações_01	121
Figura 41 – VPL´s para diferentes números de iterações_02	121
Figura 42 – VPL´s para diferentes correlações entre os inputs e outputs	122
Figura 43 – Aumento do OPEX para plantas com flexibilidade de input_01	123
Figura 44 - Aumento do OPEX para plantas com flexibilidade de input_02	123
Figura 45 – Aumento do OPEX para plantas com flexibilidade de output	124
Figura 46 – Variações no CAPEX das plantas GTL_01	126
Figura 47 – Variações no CAPEX das plantas GTL_02	126
Figura 48 – Variações no CAPEX da Planta OTL_01	127
Figura 49 - Variações no CAPEX da Planta OTL_01	127
Figura 50 – Variações percentuais nos preços do GN	128
Figura 51 – Variações Percentuais no rendimento do GN	129
Figura 52 – Variações no Preço do Óleo Pesado frente ao Petróleo	129
Figura 53 – Variações Percentuais no Rendimento do Óleo Pesado	130
Figura 54 – Variações no preço do Lubrificante	131
Figura 55 – Variações no Preço da Parafina	131
Figura 56 – VPL´s para diferentes perfis de produção	134

Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparando opção financeira de compra e opção de investimento real	25
Tabela 2 – Classificação das Opções	26
Tabela 3 – Composição do GS da biomassa –Vol. Mol/mol (%)	69
Tabela 4 – Comparação de Combustíveis	73
Tabela 5 – Projetos industriais em Operação	79
Tabela 6 – Estimativa de Custos de Investimento por Perfil de Escala	90
Tabela 7 – Rendimentos Estimados para diferentes matérias-primas	94
Tabela 8 – Alíquotas de Impostos e Taxas relevantes	95
Tabela 9 – Parâmetros Estimados	100
Tabela 10 – Parâmetros Via Regressão das séries originais	104
Tabela 11 – Parâmetros Via Regressão das séries convertidas	105
Tabela 12 – Parâmetros Utilizados	108
Tabela 13 - Correlações	109
Tabela 14 – VPL's Encontrados	116
Tabela 15 – VPL's para diferentes OPEX	125
Tabela 16 – Proporções Restritas para os Outputs	132
Tabela 17 – VPL's com proporções restritas para outputs	132
Tabela 18 – VPL's com proporções restritas para outputs e diferente preço para Lubrificante	133