

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA  
DO RIO DE JANEIRO



**Eduardo Ferraz de Lima Vieira**

**Avaliação de Projetos de Investimento em Plantas XTL  
utilizando a Teoria de Opções Reais**

**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: Prof. José Paulo Teixeira

Rio de Janeiro  
Março de 2007.



**Eduardo Ferraz de Lima Vieira**

**Avaliação de Projetos de Investimento em Plantas XTL  
utilizando a Teoria de Opções Reais**

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. José Paulo Teixeira**

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial-PUC-Rio

**Prof. Marco Antônio Guimarães Dias**

Departamento de Engenharia Industrial-PUC-Rio

**Prof. Carlos Patrício Samanez**

Departamento de Engenharia Industrial-PUC-Rio

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 06 de março de 2007

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

### **Eduardo Ferraz de Lima Vieira**

Formado em Engenharia Elétrica/Telecomunicações pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Participou do projeto XTL - Cenpes/Petrobras de análise de investimentos de uma planta GTL através da teoria de opções reais.

#### Ficha Catalográfica

Vieira, Eduardo Ferraz de Lima

Avaliação de projetos de investimento em plantas XTL utilizando a teoria de opções reais. Estudo de caso do projeto XTL – Cenpes/Petrobras / Eduardo Ferraz de Lima Vieira; orientador: José Paulo Teixeira. – 2007.

78 f.: il. ; 29,7 cm

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

Inclui referências bibliográficas

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Análise de investimentos. 3. Teoria das opções reais. 4. Processo estocástico. 5. Movimento de reversão à media com saltos. 6. Viabilidade econômica. I. Teixeira, José Paulo. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

À minha família e  
futura esposa.

## **Agradecimentos**

Em especial ao professor José Paulo Teixeira, pelo total apoio, sacrifício e orientação no trabalho que foi realizado.

Ao professor Marco Antônio Dias, pela excelência no ensino da metodologia de opções reais e ao professor Carlos Patrício Samanez, pelas opiniões e sugestões de análise.

Ao Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello – CENPES, pela iniciativa e suporte desta pesquisa e em especial a todos os colaboradores responsáveis pelo desenvolvimento do projeto XTL, entre eles: Luis Alberto Melchíades, Alessandro Oliveira, Reynaldo Taylor, Luís Eduardo Peron, Sirlei Souza e Henrique S. Cerqueira. Gostaria de agradecer também ao colaborador da área de E&P/Petrobras Edison Tito pelo auxílio na programação da plataforma computacional utilizada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro.

Por fim, à Pontifícia Universidade Católica por todo conhecimento transmitido ao longo de minha graduação em engenharia elétrica e pela excelência de conhecimento no programa de pós-graduação do departamento de engenharia industrial.

## Resumo

Ferraz de Lima Vieira, Eduardo; Teixeira, José Paulo. **Avaliação de projetos de investimento em plantas XTL utilizando a teoria de opções reais**. Rio de Janeiro, 2007. 78p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O objetivo da presente dissertação é capturar o valor da flexibilidade que uma planta XTL oferece na entrada do sistema produtivo, onde podem ser utilizados diversos tipos de insumos como matéria-prima. A saída do sistema produtivo também permite que diferentes produtos sejam produzidos. Desta forma, o autor considera que a metodologia das opções reais é a mais indicada para se avaliar tais flexibilidades, sendo o objeto principal deste estudo a análise da opção de conversão (*Input/Output Switch option*) através da utilização do processo estocástico de reversão à média com saltos. Os resultados desta dissertação podem auxiliar a tomada de decisão dos gestores da área de petróleo e energia, onde outros projetos já foram avaliados através dessa mesma metodologia, no entanto, não existe qualquer interesse em comprovar a eficiência da teoria das opções reais frente às metodologias de avaliação financeira usuais.

## Palavras-chave

Análise de investimentos; teoria das opções reais; processo estocástico; movimento de reversão à media com saltos; viabilidade econômica.

## Abstract

Ferraz de Lima Vieira, Eduardo; Teixeira, José Paulo. **Valuation of XTL Plants Project Investment based on Real Options Theory**. Rio de Janeiro, 2007. 78p. MSc Dissertation - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The objective of this dissertation is to value the operational flexibility that a GTL plant can offer at the entrance of the productive process where multiples inputs can be used as raw material. Different products also can be produced. The real options theory is considered by the author as the most indicated financial methodology to value these flexibilities and the main goal of the present study is to value the Input/Output switch option and the mean reversion with jumps stochastic process. The aim of this study is also to support manager's investment decision from oil and energy field, where others projects has been already valued with real options theory so the proof of the theory efficiency against traditional valuation methodologies is not object from this study.

## Keywords

Investment analysis; real option theory; mean reversion with jumps stochastic process; economic viability.

# Sumário

1 Introdução	14
2 O setor <i>Gas-to-Liquids (GTL)</i>	16
2.1. Histórico	16
2.2. A capital mundial do GTL	18
2.3. Diesel GTL: O combustível limpo	20
2.4. O processo GTL + Gaseificador	22
2.4.1. Geração do Gás de síntese	22
2.4.2. Processo de Fischer–Tropsch	23
2.4.3. Hidroprocessamento	24
3 Análise por Opções Reais	26
3.1. Exemplos de opções reais	27
3.2. A opção de conversão ( <i>Switch Use Option</i> )	30
3.3. Simulação de Monte Carlo	32
4 A modelagem estocástica	34
4.1. Definição	35
4.2. Principais processos estocásticos	37
4.2.1. Movimento Aritmético Browniano	38
4.2.2. Movimento Geométrico Browniano	39
4.2.3. Movimento de Reversão à Média	40
4.3. Lema de Itô	42
4.4. Movimento de Reversão à Média com Saltos	44
4.4.1. O modelo	45
5 Estudo de caso: Refinaria XTL	48
5.1. Precificação das opções de conversão	48
5.2. Premissas de simulação	50
5.2.1. Características técnicas dos <i>inputs</i>	50

5.2.2. Capacidade nominal de produção	50
5.2.3. <i>Capex</i> ( $I_0$ )	51
5.2.4. Custo dos produtos vendidos – CPV	52
5.2.5. Receitas operacionais	53
5.2.6. Impostos e Taxas	55
5.2.7. Séries de Preços	55
5.2.8. Aspectos financeiros	63
5.2.9. Outras premissas	64
6 Resultados e conclusões	65
6.1. Apresentação dos resultados	65
6.2. Conclusões	69
6.3. Sugestões para futuros trabalhos	70
7 Referências bibliográficas	71
8 Apêndices e anexos	73

## Lista de figuras

Figura 1 - Processo <i>Gas-to-Liquids</i>	25
Figura 2 - Flexibilidades em um projeto de investimento	27
Figura 3 - Combinação ótima de insumos e produtos do processo XTL	31
Figura 4 - Representação gráfica de simulação de Monte Carlo.	32
Figura 5 - Movimento Aritmético Browniano (MAB)	39
Figura 6 - Movimento Geométrico Browniano (MGB)	40
Figura 7 - Movimento de Reversão à Média (MRM)	41
Figura 8 - Preços nominais do óleo Brent e similares – período mensal (1970 a 2003)	44
Figura 9 - Distribuição de probabilidade dos saltos aleatórios	46
Figura 10 - Curvas de produção de líquidos sintéticos (ASF)	54
Figura 11 - Evolução histórica dos preços do gás natural - evolução mensal	56
Figura 12 - Evolução histórica dos preços do óleo pesado - evolução diária	56
Figura 13 - Evolução histórica dos preços da Nafta – evolução mensal	57
Figura 14 - Evolução histórica dos preços do Diesel – evolução mensal	57
Figura 15 - Evolução histórica dos preços da Parafina e Lubrificantes - evolução mensal	58
Figura 16 - Projeção real e neutra ao risco dos preços do gás natural - projeção trimestral	60
Figura 17 - Projeção real e neutra ao risco dos preços do óleo pesado - projeção trimestral	60
Figura 18 - Projeção real e neutra ao risco dos preços da nafta - projeção trimestral	61
Figura 19 - Projeção real e neutra ao risco dos preços do diesel - projeção trimestral	61
Figura 20 - Projeção real e neutra ao risco dos preços da parafina - projeção trimestral	62
Figura 21 - Projeção real e neutra ao risco dos preços do lubrificante - projeção trimestral	62
Figura 22 - Valor da opção em função do fator de correlação	66
Figura 23 - Sensibilidade do Valor presente Líquido	76
Figura 24 - Distribuições de probabilidade dos resultados encontrados	77

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Principais plantas GTL no mundo	17
Tabela 2 - Principais acordos para desenvolvimento de plantas GTL	18
Tabela 3 - Lista dos índices de enxofre permitido nos combustíveis	20
Tabela 4 - Propriedades do diesel GTL	21
Tabela 5 - Relação dos tipos de plantas industriais analisadas	49
Tabela 6 - Rendimentos por tipo de <i>input</i>	50
Tabela 7 - Investimento por barril e capacidade de planta	51
Tabela 8 - Alocação de recursos por fase de projeto	51
Tabela 9 - Valor total de Investimentos para uma planta de 35.000 bbl/dia	51
Tabela 10 - Quantidades diárias de matéria-prima	53
Tabela 11 - Perfil de produção	54
Tabela 12 - Parâmetros do processo estocástico de reversão à média com saltos	59
Tabela 13 - Taxas de desconto	63
Tabela 14: Conversores de unidades e densidades	64
Tabela 15 - Valor Presente Líquido das plantas A e B sem flexibilidade	65
Tabela 16 - Valor Presente Líquido da planta com flexibilidade de <i>input</i>	66
Tabela 17 - Perfis de produção por cenário	67
Tabela 18 - Valor Presente Líquido dos diferentes perfis de produção	67
Tabela 19 - Valor Presente Líquido da planta com flexibilidade de <i>output</i>	67
Tabela 20 - Valor Presente Líquido de uma planta <i>Total Flex</i>	68
Tabela 21 - Consolidação dos resultados	68
Tabela 22 - Tabela parametrizada ASF (Anderson-Schulz-Flory)	73
Tabela 23 - Resultados encontrados através da regressão linear	76

## Lista de símbolos, abreviaturas e siglas

GTL – gas to liquids  
FT – Fischer- Tropsch  
bbl – barris por dia  
QP – Qatar Petroleum  
p.p.m – partes por milhão  
SMR – processo de reforma a vapor  
POX – processo de oxidação parcial  
HCC – Hydrocraking  
HIDW -Hdrodewaxing  
ANP – Agência Nacional do Petróleo  
OPEC - Organization of the Petroleum Exporting Countries.  
On Shore – dentro do continente  
Off Shore – fora do continente, em alto mar  
Input – entrada  
Output – saída  
Shut Down – processo de parada temporária  
Restart – reinício de operação  
Max[.] – (operador) máximo  
Syngas – gás de síntese  
 $\pi$  – pi, 3,14  
VPL – valor presente líquido  
Prob[.] – (operador) probabilidade  
 $\varepsilon_t$  – variável aleatória  
dz – incremento de Wiener  
dt – variação de tempo infinitesimal  
dx - variação de x infinitesimal  
 $\alpha$  – tendência (drift)  
 $\sigma$  – volatilidade  
E[.] – (operador) valor esperado  
V[.] - (operador) variância  
MAB – movimento aritmético browniano  
MGB - movimento geométrico browniano  
MRM - movimento de reversão à média  
MRMJ - movimento de reversão à média com saltos  
 $\eta$  – velocidade de reversão à média  
 $\bar{x}$  - média de longo prazo

$e^{[.]}$  – (operador) exponencial  
dq – distribuição de probabilidade dos saltos aleatórios  
 $\lambda$  – taxa de ocorrência dos saltos aleatórios  
 $\varphi$  – tamanho dos saltos aleatórios  
 $Nm^3$  – normal metro cúbico  
ton MP – toneladas de matéria-prima  
 $I_0$  – Investimento  
Capex – capital expenditure  
Opex – operational expenditure  
CPV – custo dos produtos vendidos  
ASF – curva Anderson-Schulz-Flory  
Pis/Pasep – Programa de Integração social  
Cofins – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social  
ISS – Imposto Sobre Serviços  
ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços  
IRPJ – Imposto de Renda sobre Pessoa Jurídica  
CSLL – Contribuição Social sobre Lucro Líquido  
MMBTU – milhões BTU (British Thermal Unit)  
US\$/gal – centavos de dólar por galão  
l – litro  
Ln – logaritmo na base e  
N[.] – (operador) distribuição normal  
 $\mu$  – taxa de desconto ajustada ao risco  
 $r_f$  – taxa de desconto livre de risco  
p.a. – per annum, por ano  
Alpha – perfil de produção ASF  
Cenpes - Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello  
@Risk – plataforma estatística  
Out-of-the-money – opção fora do dinheiro