



**Carlos Frederico da Silva Crespo**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO ECONÔMICO DE UM PROJETO DE  
PESQUISA E DESENVOLVIMENTO NO VALOR DE UMA PLANTA  
“GAS-TO-LIQUID” USANDO A TEORIA DAS OPÇÕES REAIS**

**Tese de Doutorado**

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

Orientador: José Paulo Teixeira

Rio de Janeiro

Julho de 2008



**Carlos Frederico da Silva Crespo**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO ECONÔMICO DE UM PROJETO DE  
PESQUISA E DESENVOLVIMENTO NO VALOR DE UMA PLANTA  
“GAS-TO-LIQUID” USANDO A TEORIA DAS OPÇÕES REAIS**

Tese apresentada como requisito parcial para a  
obtenção do título de Doutor pelo Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia de Produção  
da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão  
Examinadora abaixo assinada.

**Prof. José Paulo Teixeira**

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. Leonardo Pereira Santiago**

UFMG

**Prof. Carlos Patrício Samanez**

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. Fabio Rodrigo Siqueira Batista**

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão**

IAG PUC-Rio

**Prof. Alexandre Zanini**

UFJF

**Prof. José Eugenio Leal**

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico –PUC-Rio

Rio de Janeiro, 14 de julho de 2008.

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

**Carlos Frederico da Silva Crespo**

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Juiz de Fora em 1974 e Mestre em Engenharia de Produção pela PUC-Rio em agosto de 1991. De Dezembro de 1976 a junho de 1998, trabalhou na Rede Ferroviária Federal e MRS Logística. Desde janeiro de 2000 é professor Assistente da Faculdade de Economia e Administração da Universidade Federal de Juiz de Fora no Departamento de Finanças e Controladoria.

Ficha Catalográfica

Crespo, Carlos Frederico da Silva

Avaliação do impacto econômico de um projeto de pesquisa e desenvolvimento no valor de uma planta “gás-to-liquid” usando a teoria das opções reais / Carlos Frederico da Silva Crespo ; orientador: José Paulo Teixeira. – 2008.

128 f. : il. ; 30 cm

Tese (Doutorado em Engenharia Industrial)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

Inclui bibliografia

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Opções reais. 3. Projeto de pesquisa e desenvolvimento. 4. Simulação de Monte Carlo. 5. Programação dinâmica. 6. Avaliação de projetos. 7. Planta gas-to-liquid. I. Teixeira, José Paulo. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Aos meus pais José e Joanna, em memória

## Agradecimentos

Ao Professor José Paulo Teixeira que mais uma vez orientou e apoiou o meu trabalho.

Ao Professor Leonardo Santiago Pereira pela co-orientação sempre atenta e colaborativa.

À Professora Marcela Lobo Francisco, pela delicadeza e atenção a mim dispensadas no esclarecimento de dúvidas e encaminhamento de soluções.

Aos diretores da Faculdade de Economia e Administração da Universidade Federal de Juiz de Fora, pelo seu apoio inequívoco ao Programa de Qualificação Institucional da CAPES voltado para seus docentes.

Ao professor Marco Antônio Guimarães Dias pela paciência e disposição mostradas no esclarecimento de várias dúvidas durante o curso.

À Cláudia Teti, funcionária do DEI/PUC-Rio, pela paciência e competência mostradas durante todo o curso.

Aos demais funcionários e funcionárias do DEI/PUC-Rio pela postura sempre colaborativa.

À Teresa, Julia e Laura, minha família.

## Resumo

Crespo, Carlos F. S.; Teixeira, José P. **Avaliação do Impacto Econômico de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento no valor de uma planta “Gas-to-liquids” usando a Teoria das opções Reais.** Rio de Janeiro, 2008. 128p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Industrial. Pontifícia Universidade Católica do Rio da Janeiro.

Ao tomar suas decisões, o gerente se vê frente a frente com diferentes tipos de incertezas, entre elas, o tempo para se concluir um projeto. As características de inovação e ineditismo dos projetos de Pesquisa e Desenvolvimento aplicados à tecnologia reforçam ainda mais os cuidados a serem tomados com a dimensão tempo no momento da decisão, pois a penalidade pode ser até mesmo a perda de uma oportunidade valiosa de negócio. Para quantificar o impacto do esforço aplicado em um Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico no valor de um empreendimento, conduzido em um contexto onde o tempo é representado por uma variável aleatória, desenvolvemos o modelo que apresentamos neste trabalho. Para tanto utilizamos a Teoria das Opções Reais, considerando que o projeto se desenvolve sequencialmente e que pode ser abandonado em qualquer estágio de desenvolvimento. O modelo utiliza uma treliça para captar a incerteza técnica própria do desenvolvimento do desempenho da tecnologia e considera como variável aleatória o tempo de conclusão de cada uma das fases do projeto. O valor esperado do projeto, com a flexibilidade propiciada pela opção de abandono embutida no projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, é calculado combinando a Simulação de Monte Carlo e a técnica da Programação Dinâmica. Aplicamos o modelo para tratar o caso de uma planta Gas-to-liquid (GTL). A função payoff do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento foi construída a partir de diversas contribuições geradas no bojo de um convênio firmado entre o Departamento de Engenharia Industrial da PUC-RJ e a Petrobras S.A., com o objetivo de avaliar economicamente uma planta GTL.

## Palavras-chave

Opções Reais; Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento; Simulação de Monte Carlo; Programação Dinâmica; avaliação de projetos; planta Gas-to-liquid.

## Abstract

Crespo, Carlos F. S.; Teixeira, José P. **Evaluation of the Economic Impact in the Value of a “Gas-to-liquids” Facility Caused by a Research and Development Tecnological Project Using the the Real Options Theory** Rio de Janeiro, 2008. 128p. D.Sc Thesis - Departamento de Engenharia Industrial. Pontíficia Universidade Católica do Rio da Janeiro.

When making decisions, the figure of the manager comes across different types of uncertainties. Among them, the time to conclude a project. The characteristics of innovation and novelty in Research and Development Projects applied to technology, further reinforces the caution to be taken regarding the “time” dimension at the moment of the decision, since the penalty could culminate in the loss of a valuable business opportunity. In order to quantify the impact of the effort applied in a Research and Technological Development Project, in the value of an entrepreneurship conducted according to a context in which “time” is represented by a random variable, this study presents a pertinent model. Considering that a project sequentially evolves and can be abandoned during any stage of its development, the Theory of Real Options was the chosen theoretical framework. The model utilizes a lattice to capture the technical uncertainty, characteristics of the development of technology performance, and takes in account as a random variable the time of the conclusion of each stage of the project. The expected value of the project with the flexibility provided by the option to abandonment built in the Research and Development Project, is calculated through a combination of the Monte Carlo Simulation and the technique of Dynamic Programming. The proposed model was applied in the case of a Gas-to-liquid (GTL) plant. The payoff function of the Research and Development Project was built through several contributions stemmed from an agreement between the Industrial Engineering Department of PUC-RJ and Petrobras S.A., in order to assess the economic value of a GTL plant.

## Key Words

Real Options; Research and Development Project; Monte Carlo Simulation; Dynamic Programming; Project Valuation; Gas to Liquid Plant

## Sumário

1 Introdução	16
1.1 Apresentação do Problema	16
1.2 Estruturação do Modelo	17
1.3 Outras Contribuições e Objetivos	18
1.4 Organização da Tese	18
2 Referencial Teórico	21
2.1 Introdução	21
2.2 Opções Financeiras	21
2.3 Orçamento de Capital e a Regra do Valor Presente Líquido	22
2.4 Opções Reais (OR)	26
2.5 Opções Reais Compostas e Projetos de P&D	28
2.6 Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)	29
2.7 Incertezas de Mercado e Técnica	32
2.8 Tempo de Duração de um Projeto: Variável Aleatória	34
2.9 Pesquisa Atual	36
2.10 – Contribuições da Tese	44
3 Processo Gas-to-liquids e Teoria das Opções Reais	46
3.1 O Processo Gas-To-Liquids	46
3.2 Estudos de Viabilidade Econômica de Projetos GTL	50
3.2.1 Abordagem pela Metodologia do Valor Presente Líquido	50
3.2.2 Abordagem Opcional	52
3.3 Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Gas-to-Liquids	54
4 Modelo de Apoio à Decisão Voltado para o Produto	58
4.1 Huchzermeier & Loch	59
4.2 Santiago & Vakili	63
5 O Modelo Voltado para a Tecnologia	66
5.1 Apresentação do Modelo	66
5.2 A Função “Payoff”	72



5.3 Redução do “CAPEX”	74
5.4 Faixa Relevante da Função “Payoff”	74
5.5 A Introdução do Tempo na Função “Payoff”	75
5.6 Processo de Cálculo do Valor da Flexibilidade do Projeto de P&D	77
6 Resultados da Aplicação do Modelo	78
6.1 Introdução	78
6.2 Avaliação do Desempenho da Tecnologia	78
6.3 Flexibilidade Gerencial e Custos	79
6.4 A Função “Payoff”	80
6.4.1 Relação Eficiência e “CAPEX” da Planta	80
6.4.2 Tempo	81
6.5 Cálculo do Valor da Flexibilidade	83
6.6 Análise de Sensibilidade	85
6.7 Resultados	86
6.7.1 Variância	86
6.7.2 Valor Esperado	90
6.7.3 Custos Variáveis	93
6.7.4 Taxa de Juros	96
6.7.5 Comparações do comportamento das flexibilidades para as distribuições Uniforme e Triangular	99
6.7.5.1 Média Constante – Desvio Padrão Crescente	100
6.7.5.2 Média crescente – Desvio Padrão constante	102
6.7.5.3 Breve Comentário Sobre a Comparação do Comportamento das Distribuições Uniforme e Triangular	104
7 Conclusões e Sugestões	105
8 Referências Bibliográficas	109
Apêndice A: Simulação de Monte Carlo	115
Apêndice B: Equação de Distribuição dos Produtos da Síntese F&T	117

Apêndice C: Perfis de Produção para Diversos valores de $\alpha$	118
Apêndice D: Programação Dinâmica	119
Apêndice E: Um Breve Exemplo do Modelo	120
Apêndice F: Dados de Entrada (em vermelho) da Planilha de Francisco [7]	124
Apêndice G: Dados de Entrada para os Processos Estocásticos dos Preços dos “input”s e “output”s da Planta GTL	125
Apêndice H: Ilustração da Função Payoff	126
Apêndice I: Planilhas de Cálculo para as Distribuições T e U	128

## Lista de figuras

Figura 3.1 - Esquema Básico do Processo Gas-to-Liquids	48
Figura 4.1 - Probabilidades de Transição – Exemplo	60
Figura 4.2 - Probabilidades de Transição, com Deslocamento – Exemplo	61
Figura 4.3 - Modelo Huchzermeier & Loch	63
Figura 4.4 - Dinâmica do Desempenho do Produto	64
Figura 5.1 - Estágios de Desenvolvimento do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento	68
Figura 5.2 – Treliça Simulada, “Payoff” e Tempo Aleatório	71
Figura 5.3 – Faixa Relevante da Função “Payoff”	75
Figura 5.4 – Caminhos Aleatórios dos Preços e Valores da Função “Payoff”	76
Figura 6.1 – Atividades do Processo de Pesquisa e Desenvolvimento com Três Estágios	78
Figura 6.2 – Treliça e Probabilidades de Transição	79
Figura 6.3 – Função “Payoff”	83
Figura 6.4 – Transição de Um Estágio para Outro	84
Figura 6.5 - Comportamento da Flexibilidade - <b>Dist U</b> (Variável Tempo: Valor Esperado Constante - Desvio Padrão Aumenta)	88
<b>Figura 6.6</b> - Comportamento da Flexibilidade - <b>Dist T</b> (Variável Tempo: Valor Esperado Constante - Desvio Padrão Aumenta)	89
Figura 6.7 - Comportamento da Flexibilidade - <b>Dist U</b> (Variável Tempo: Valor Esperado Aumenta - Desvio Padrão Constante)	92
Figura 6.8 - Comportamento da Flexibilidade - <b>Dist T</b> (Variável Tempo: Valor Esperado Aumenta - Desvio Padrão Constante)	93
Figura - 6.9 - Comportamento da Flexibilidade - <b>Dist U</b> (Variável Tempo: Valor Esperado e Desvio Padrão Constantes - Custo Variável Aumenta)	95
Figura 6.10 - Comportamento da Flexibilidade - <b>Dist T</b> (Variável Tempo: Valor Esperado e Desvio Padrão Constantes - Custo Variável Aumenta)	96
Figura 6.11 – Comportamento da Flexibilidade em Relação ao Aumento % da Taxa de Juros – Distribuição U	98
Figura 6.12 – Comportamento da Flexibilidade em Relação ao	

Aumento % da Taxa de Juros – Distribuição T	99
Figura 6.13 – Comparação de Valores Gerados pelas Distribuições Uniforme e Triangular (Média Constante – Desvio Padrão Crescente)	101
Figura 6.14 – Comparação Valores Gerados pelas Distribuições Uniforme e Triangular (Média Crescente – Desvio Padrão Constante)	103

## Lista de tabelas

Tabela 2.1- Reprodução Tabela 06 [Dias, 6] - Analogia de Uma Opção Financeira com a Opção Real de Paddock-Siegel-Smith	27
Tabela 2.2 - Outras Analogias entre Opções Financeiras e Opções Reais	27
Tabela 2.3 – entre Opções Financeiras e Opções Reais [Dias, 23]	27
Tabela 2.4 - Algumas Conclusões dos Autores Huchzermeier & Loch e Santiago & Vakili	42
Tabela 3.1 - Consumo Total de Energia por tipo de Combustível, 1920-2030 (BTUx10 <sup>15</sup> )	46
Tabela 3.2 - Plantas GTL em Operação	49
Tabela 3.3 - Evolução do Número de Patentes Relacionadas com a Tecnologia GTL	55
Tabela 3.4 - Distribuição Percentual do “CAPEX”	55
Tabela 3.5 - Distribuição do “CAPEX”	56
Tabela 3.6 – Diferentes Direções de Pesquisa em GTL e suas Características	56
Tabela 6.1 – Relação Eficiência - “CAPEX”	81
Tabela 6.2 – Função “Payoff”	82
Tabela 6.3 – Custos (US\$), Taxa de Juros e Número de Simulações	84
Tabela 6.4 - Parâmetros Utilizados para Construir Tabela 6.6 e Figura 6.5	87
Tabela 6.5 - Parâmetros Utilizados para Construir Tabela 6.7 e Figura 6.6	87
Tabela 6.6 - Comportamento da Flexibilidade (US\$) - Dist U (Variável Tempo: Valor Esperado Constante - Desvio Padrão Aumenta)	88
Tabela 6.7 - Comportamento da Flexibilidade (US\$) - Dist T (Variável Tempo: Valor Esperado Constante - Desvio Padrão Aumenta)	89
Tabela 6.8 - Parâmetros Utilizados para Construir Tabela 6.10 e Figura 6.7	90
Tabela 6.9 - Parâmetros Utilizados para Construir Tabela 6.11 e Figura 6.8	91
Tabela 6.10 - Comportamento da Flexibilidade (US\$) - Dist U (Variável Tempo: Valor Esperado Aumenta - Desvio Padrão Constante)	91
Tabela 6.11 - Comportamento da Flexibilidade (US\$) - Dist T (Variável Tempo: Valor Esperado Aumenta - Desvio Padrão Constante)	92
Tabela 6.12 - Parâmetros Utilizados para Construir Tabela 6.14 e Figura 6.9	94
Tabela 6.13 - Parâmetros Utilizados para Construir Tabela 6.15 e Figura 6.10	94

Tabela 6.14 - Comportamento da Flexibilidade (US\$) - Dist U (Variável Tempo: Valor Esperado e Desvio Padrão Constantes – Custo Variável Aumenta)	94
Tabela 6.15 - Comportamento da Flexibilidade (US\$) - Dist T (Variável Tempo: Valor Esperado e Desvio Padrão Constantes – Custo Variável Aumenta)	95
Tabela 6.16 – Cálculo do Valor da Flexibilidade (US\$) para Diversas Taxas de Juros	97
Tabela 6.17 – Comportamento da Flexibilidade (US\$) em Relação ao Aumento % da Taxa de Juros – Distribuição U	97
Tabela 6.18 – Comportamento da Flexibilidade (US\$) em Relação ao Aumento % da Taxa de Juros – Distribuição T	98
Tabela 6.19 - Parâmetros Utilizados para Construir Tabela 6.21 e Figura 6.13 (Distribuição U)	100
Tabela 6.20 - Parâmetros Utilizados para Construir Tabela 6.21 e Figura 6.13 (Distribuição T)	100
Tabela 6.21 – Comparação de Valores (US\$) Gerados pelas Distribuições Uniforme e Triangular (Média Constante – Desvio Padrão Crescente)	101
Tabela 6.22 - Parâmetros Utilizados para Construir Tabela 6.24 e Figura 6.14 (Distribuição U)	102
Tabela 6.23 - Parâmetros Utilizados para Construir Tabela 6.24 e Figura 6.14 (Distribuição T)	102
Tabela 6.24 – Comparação Valores (US\$) Gerados pelas Distribuições Uniforme e Triangular (Média Crescente – Desvio Padrão Constante = 0,0612 anos)	103

## **Lista de siglas e abreviaturas**

GTL – Gas-to liquid

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

FCD – Fluxo de caixa Descontado

EVTE – Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica

VPL – Valor Presente Líquido

F&T - Fischer e Tropsch

OR – Opções Reais

U – Distribuição Uniforme de Probabilidades

T – Distribuição Triangular de Probabilidades

BTU – British Thermal Unit

ASF - Anderson-Schulz-Flory